Etude No. 138
IGM84-160-138

INSTITUT DE GENIE DES MATERIAUX
CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES

ETUDE DES PROCEDES DE GALVANISATION DES TOLES MINCES DESTINEES A L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

fait par

ASSELIN, BENOIT, BOUCHER, DUCHARME, LAPOINTE INC.

CNRC 23365

Note au lecteur:

Les idées exprimées dans ce document sont celles de l'auteur (ou du contractant) et ne sont pas nécessairement partagées par l'Institut de génie des matériaux ou par le Conseil national de recherches Canada. L'auteur (ou le contractant) en assume l'entière responsabilité.

Si la demande est suffisante, des exemplaires supplémentaires de cet ouvrage pourront être disponibles dans la seconde langue officielle (français ou anglais).

Note to the reader:

The views expressed in this document are those of the author (or contractor) who assumes their full responsibility. They are not necessarily shared by the Industrial Materials Research Institute or the National Research Council of Canada.

If sufficient requests are received, a copy of this document will be made available in the other official language (French or English).

TABLE DES MATIÈRES

		Page
1.0	INTRODUCTION	1
2.0	SOMMAIRE	2
3.0	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	5
4.0	SYNTHÈSE DE LA SITUATION PERCUE	6
4.1	Contexte du problème de lutte à la corrosion	6
4.2	Problèmes de corrosion des automobiles	6
4.3	Solutions préconisées et tendances	11
4.3.1	Importance commerciale de l'usage du zinc	11
4.3.2	Exigences des constructeurs	14
4.3.3	Procédés disponibles aux fournisseurs pour satisfaire les exigences des tôles zinguées	16
4.3.4	Pratiques courantes de protection	20
4.3.5	Conséquence de l'usage des tôles zinguées et de tôles non revêtues	30
5.0	ÉTUDE COMPARATIVE DES PROCÉDÉs	32
5.1	Généralités	32
5.2	Performances actuelles	32
5.3	Difficultés propres à chacun des procédés	35

TABLE DES MATIÈRES (Suite)

		Page
5.3.1	Généralités	35
5.3.2	Tôles monofaces	36
5.3.3	Contrôle des épaisseurs	41
5.3.4	Uniformité des revêtements	42
5.3.5	Revêtements alliés	43
5.4	Orientation des efforts pour surmonter les difficultés	43
6.0	CONJONCTURE ACTUELLE DE L'INDUSTRIE CANADIENNE DE PRODUITS PLATS ZINGUÉS	51
6.1	Généralités	51
6.2	Aspect économique	51
6.3	Aspect technologique	51
6.4	Rôle du CNRC (ou constance favorable IGM)	52
7.0	SUGGESTION D'UN PROGRAMME IGM	54
7.1	Généralités	54
7.2	Électrodéposition	55
7.3	Galvanisation à chaud	55
7.4	Activités périphériques	55
7.5	Implications pour IGM	56
7.5.1	Personnel	56
7.5.2	Investissements	58

TABLE DES MATIÈRES (Suite)

		Page
8.0	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	59
8.1	Conclusions	59
8.2	Recommandations	61

1.0 INTRODUCTION

L'Institut de génie des matériaux du Conseil National de Recherches Canada a retenu les services professionnels d'ABBDL-TECSULT le 18 mars 1983 par le contrat OS D82-00178 pour l'assister dans l'étude des procédés de galvanisation des tôles minces destinées à l'industrie automobile.

Cette étude doit permettre en premier lieu de mieux connaître les attentes des constructeurs d'automobiles concernant les matériaux utilisés pour la lutte à la corrosion, de reconnaître les pratiques de l'industrie de zingage des tôles minces et de proposer des orientations d'essais pour l'IGM.

1.0 INTRODUCTION

On March 18th 1983, the Industrial Materials Research Institute of the National Research Council of Canada retained the professional services of ABBDL-TECSULT (Contract OS D82-00178) for assistance in the study of galvanizing processes for steel sheets used in the automobile industry.

The objectives of this study were to determine the expectations of automobile manufacturers with respect to materials usage to control corrosion; to understand the galvanizing processes used to protect steel sheets; and to make certain recommendations concerning IMRI research orientations.

2.0 SOMMAIRE

L'usage de tôles zinguées constitue, pour les constructeurs d'automobiles, un des principaux moyens pour améliorer la vie utile de leurs produits et lutter efficacement contre la corrosion.

Actuellement, il n'y a pas d'uniformité parmi les constructeurs quant aux spécifications des procédés de zingage. Cette situation est due à des compromis toujours en évolution, entre les exigences des constructeurs quant aux propriétés des produits zingués et aux capacités des fournisseurs de les réaliser avec les installations existantes.

Il ressort néanmoins de cette étude que l'usage de tôles zinguées monofaces ou d'alliages multi-couches électrodéposés s'imposent graduellement et qu'à cet égard, le procédé d'électrodéposition devrait, à moyen terme, déplacer les autres procédés, des applications à fortes exigences esthétiques. Toutefois, le procédé de galvanisation à chaud gardera ses domaines d'applications propres.

L'industrie canadienne des tôles zinguées destinées à l'industrie automobile se porte actuellement très bien. Les besoins du parc automobile nord-américain sont satisfaits à environ 20% par les fournisseurs canadiens et il en résulte des exportations annuelles nettes de produits zingués de l'ordre de 150 000 tonnes. Malgré ces constatations encourageantes à priori, la position de notre industrie de tôles zinguées est vulnérable car elle ne produit actuellement que très peu de produits monofaces,

type "stop off" et est limitée au procédé de galvanisation à chaud. Elle ne produit pas non plus d'alliages multi-couches.

De cette analyse de la conjoncture actuelle de l'industrie canadienne de produits plats zingués découle la suggestion d'un programme d'essais à l'IGM pour l'étude de l'électrodéposition pour les tôles automobiles et à fortes exigences esthétiques et pour le perfectionnement d'applications spécifiques de la galvanisation à chaud.

Une action concertée entre l'IGM et les fournisseurs devrait constituer la base d'un programme canadien de recherches technologiques sur les procédés d'électrodéposition et leur implantation, ainsi qu'au développement d'une compétence canadienne à cet égard. Ce premier objectif devrait constituer la principale ligne directrice du programme de la ligne IGM. Il est en effet, d'après nos interlocuteurs, fort probable que les procédés d'électrozingages se développent et il serait très approprié que l'industrie canadienne, impliquée par cette évolution, amorce un effort suffisant dans ce domaine en concertation avec l'IGM afin de se préparer à faire face aux développements de la compétition étrangère. Compte tenu des efforts dédiés à ce sujet à travers le monde, il est probable que cette technologie connaîtra des progrès importants dans un avenir pas très lointain.

De plus, comme 80% des produits prérevêtus canadiens sont destinés à d'autres marchés qui utilisent encore le procédé de galvanisation à chaud, la ligne IGM devrait être utilisée en vue d'améliorer ce procédé. À cet

effet, la participation participation de l'industrie dans des projets à courts termes déjà identifiés doit être encouragée.

Il serait opportun d'analyser l'impact d'une substitution de la galvanisation à chaud par l'électro-déposition dans ces dernières applications.

Une équipe comprenant au minimum dix personnes du groupe IGM et cinq autres détachées de l'industrie devrait oeuvrer en permanence pour réaliser les objectifs précités. Un investissement de l'ordre de 500 000$ pour incorporer le procédé d'électrozingage à la ligne IGM est par ailleurs requis pour concrétiser un programme efficace de recherche et de développement des procédés de zingage des tôles zinguées destinées à l'industrie automobile.

2.0 SUMMARY

The use of galvanized steel sheets is one of the principal means used by automobile manufacturers to improve the service life of their products, and provide an effective control against corrosion.

At present, the manufacturers do not have any uniform standards for their specifications regarding galvanizing processes. This is due to a constantly changing compromise that has to be reached between the needs of the manufacturers concerning the properties of galvanized products, and the capacity of the suppliers to meet these needs with existing installations.

This study has shown that the use of single-layer galvanized sheets or multilayered electroplated alloys is gradually gaining ground; and that the electrodeposition process should shortly replace other processes in applications where the design aspects are very demanding. Nevertheless, the hot-dip galvanizing process will still retain its share of the market in its own area of application.

In Canada, the present situation of the galvanized steel industry producing sheets for the automobile industry is quite good. Canadian suppliers provide about 20% of the needs of the North American automobile industry, and this represents a net annual export volume of about 150,000 tons of galvanized products. However, in spite of these apparently encouraging figures, our galvanized steel industry is in a vulnerable position, because, at present, it produces too few single layer products of the stop-off type, and is limited to the hot-dip

galvanizing process. The industry does not produce any multilayered alloys.

This analysis of the present position of the Canadian galvanized steel sheet industry led to the proposal of a testing programme to be carried out at IMRI in order to study electrodeposition processes for automobile steel and other areas where the design aspects of the applications are very demanding, and to improve the hot-dip galvanizing process for other applications.

A concerted effort on the part of IMRI and the suppliers must form the basis of any Canadian programme concerned with technological research in the electrodeposition process and its applications, as well as the development of Canadian experience in this field. This primary objective should form the nucleus for the development of an IMRI programme. In fact, we heard representations to the fact that galvanizing processes will probably be developed, and it would be appropriate for the Canadian industrial sector to launch a campaign, in collaboration with IMRI, in order to prepare itself to face foreign competition in this area. Taking into account the efforts that are being made in this field throughout the world, it is likely that this technology will make giant strides in the not too distant future.

Moreover, since 80% of Canadian precoated products are destined for use in other markets which already use the hot-dip galvanizing process, the IMRI line should be employed in an effort to try to improve this process. To this end, the participation of the industrial sector

in short term projects that have already been identified, should be encouraged.

It would also be helpful to analyze the impact of replacing the use of hot-dip galvanizing by electrodeposition in some of the later applications.

In order to meet these goals, a permanent team consisting of at least ten people from IMRI and five industry representatives should be formed. Further, the commitment of about $500,000 would be required in order to install electrogalvanizing equipment at IMRI, and implement an efficient research and development programme in the area of galvanizing processes for steel sheets used in the automobile industry.

3.0 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Les objectifs de l'étude sont:

a) définir les tendances relatives au développement des procédés de galvanisation orientés vers la production en continu des tôles minces destinées à l'industrie automobile;

b) déterminer les attentes de l'industrie automobile nord-américaine et de ses fournisseurs quant aux procédés de protection contre la corrosion qui utilisent des revêtements de zinc ou d'alliage de zinc;

c) Établir plus spécifiquement les difficultés technologiques des procédés d'électrogalvanisation en continu des tôles minces;

d) dégager les exigences imposées par l'électrogalvanisation sur les pratiques courantes des aciéries canadiennes.

En sus de ces objectifs initiaux, il a été convenu, lors de la réunion du comité sur les revêtements tenu le 14 avril 1983, que l'étude considérerait aussi d'autres applications des tôles galvanisées, telles que pour les secteurs de la construction, des équipements électroménagers et de l'irrigation (drainage). (Voir annexe 1, compte rendu de la réunion du 14 avril 1983.)

3.0 OBJECTIVES OF THE STUDY

The objectives of the study are:

a) To define present trends regarding the development of galvanizing processes for the continuous production of sheets used in the automobile industry;

b) To determine the expectations of the North-American automobile industry and its suppliers concerning anti-corrosion processes using zinc or zinc alloy coatings;

c) To establish more clearly the technological difficulties involved in implementing a continuous electrogalvanizing process for steel sheets;

d) To determine the requirements imposed by the electrogalvanizing process on existing procedures used by steel plants in Canada.

Over and above these initial objectives, the meeting of the Coatings Committee held on 14 April 1983 agreed that the study should also consider other applications of galvanized sheets, such as their use in the construction sector, and in the manufacture of household electrical appliances and irrigation (drainage) equipment. (See Appendix 1, Minutes of the meeting held on 14 April 1983).

4.0 SYNTHÈSE DE LA SITUATION PERCUE

4.1 Contexte du problème de lutte à la corrosion

L'envergure du problème relié à la protection des automobiles contre la corrosion est telle qu'il paraît téméraire de tenter d'en faire une synthèse. Néanmoins, l'étude de la documentation sur le sujet, les rencontres avec certaines autorités de l'industrie automobile et de leurs fournisseurs et l'analyse des tendances des dernières années permettent de cerner partiellement le problème.

Les points qui en ressortent peuvent fournir d'autres éléments de rationalisation aux décisions des entreprises canadiennes impliquées quant aux actions qu'elles devraient prendre à cet égard, afin de guider l'orientation des efforts de R&D que le CNRC (IGM) pourrait entreprendre dans ce secteur d'intérêt stratégique.

4.2 Problèmes de corrosion des automobiles

Les facteurs suivants ont contribué à augmenter la gravité des problèmes de corrosion sur les automobiles en Amérique du nord:

a) l'usage croissant des fondants sur les routes dans les régions nordiques;

b) l'utilisation de tôles d'aciers faiblement alliés de plus en plus minces, afin de réduire le poids des véhicules et donc, la consommation d'essence;

c) la sensibilisation des consommateurs face à la qualité des produits et certaines législations exigeant des garanties de plus en plus sévères quant à la durabilité des automobiles. Ces pressions ont forcé les constructeurs à analyser de façon rigoureuse de la corrosion sur les automobiles. Ainsi, il est ressorti qu'il existe deux principaux types de corrosion sur les automobiles:

- la corrosion de l'intérieur vers l'extérieur due à l'emprisonnement d'électrolyte à des endroits particuliers sous la voiture et à l'intérieur des "ailes". Ce type de corrosion conduit généralement à la perforation de la carrosserie après quelques années. Dans certains cas, des modifications de conception peuvent restreindre le phénomène, mais en général, il est essentiel de recourir à un revêtement anticorrosif pour prolonger la vie utile avant que la perforation ne se produise. La figure 1 schématise comment se produit ce type de corrosion;

- la corrosion amorcée de l'extérieur Cette dernière débute surtout aux endroits où les couches de peintures sont endommagées et le métal mis à nu. En général, les produits de corrosion s'infiltrent entre la peinture et le métal et produisant un écaillage. Bien que ce dernier type de corrosion conduise

rarement à des perforations, il se manifeste souvent peu de temps après la mise en service de l'automobile, et détériore l'aspect esthétique des véhicules. La figure 2 illustre ce dernier type de corrosion.

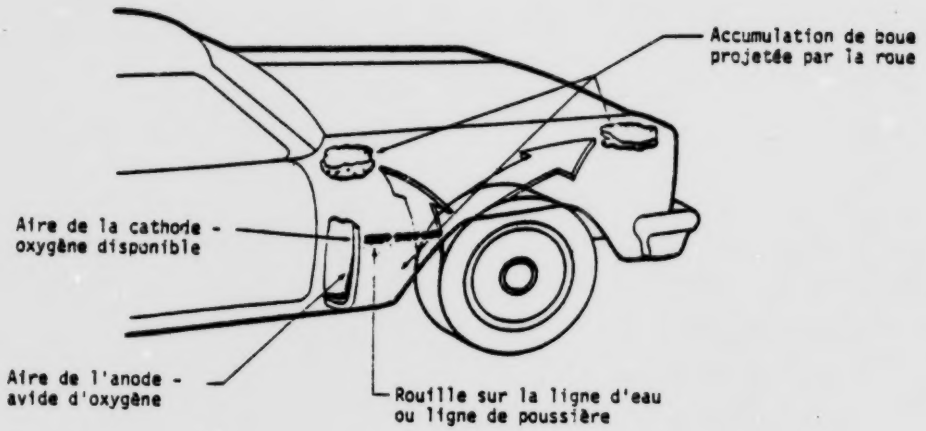


FIG. 1 (a)

FIG. 1 (b)

FIG. 1 - CAUSES ET MECANISMES DE LA CORROSION DE TYPE INTERIEUR VERS L'EXTERIEUR, PRINCIPALE CAUSE DE LA PERFORATION.

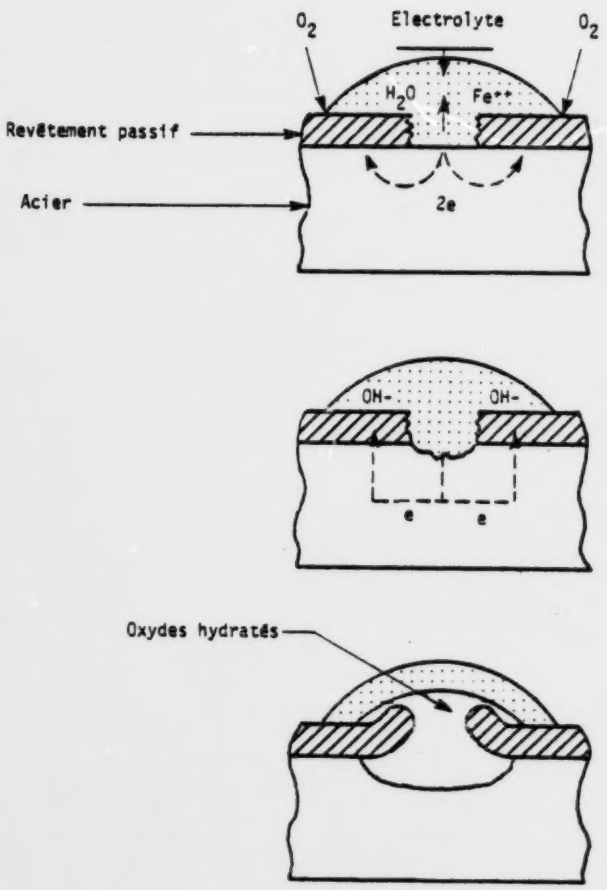


FIG. 2 - CAUSES ET MECANISMES DE LA CORROSION DE TYPE EXTERIEUR VERS L'INTERIEUR, PRINCIPALE CAUSE D'UNE DETERIORATION DE L'ESTHETIQUE.

Pour ces deux types décrits de corrosion, l'usage de tôles prérevêtues d'une couche protectrice s'avère être la solution privilégiée par tous les manufacturiers d'automobiles, tant en Europe, au Japon qu'en Amérique.

4.3 Solutions préconisées et tendances

L'expérience a montré que la protection cathodique est la solution aux problèmes de corrosion automobile. L'usage d'un revêtement protecteur à base de zinc est donc tout à fait approprié. Cette méthode est efficace et elle est utilisée dans plusieurs secteurs pour protéger des équipements contre la corrosion.

4.3.1 Importance commerciale de l'usage du zinc

Ainsi, parmi les produits prérevêtus résistant aux principaux types de corrosion, les tôles avec un revêtement à base de zinc sont sujettes à être de plus en plus utilisées. Différentes variantes de tôles revêtues de produits riches en zinc sont utilisées pour améliorer la résistance à la corrosion des véhicules automobiles. La figure 3, tirée d'une étude de l'AISI, montre l'évolution de la quantité d'acier zinguée par automobile depuis 1975. On y constate une croissance importante qui révèle qu'en 1990, il y aurait environ 400 livres d'acier zingué par automobile.

Malgré que la figure 3 montre une croissance élevée de l'usage de tôles revêtues d'une peinture métallique au zinc (Zincrométal), les discussions que nous avons eues avec R. Neville de Dofasco (annexe 2), de même que celles avec K. Greene et B. Lang de General Motors, nous font croire que l'usage de ce procédé devrait se stabiliser et même décroitre au profit du zingage (annexe 3).

Le tableau 1, déduit de nos conversations avec des représentants de General Motors, confirme l'évolution de l'usage du zinc dans l'industrie automobile.

TABLEAU 1

Année de production	1977	1983
% d'acier revêtu	18	37

Bien qu'il y ait consensus commun dans l'industrie automobile quant à l'usage accru de tôles zinguées en vue de minimiser les problèmes de corrosion, les opinions diffèrent quant aux positions repectives qu'occuperont, dans le futur, les différents procédés d'application de revêtement de zinc sur l'acier.

Cette situation dépend surtout des installations actuelles des différents fournisseurs de tôles, des exigences imposées par les constructeurs, ainsi que du succès relatif des différents procédés utilisés par les fournisseurs pour satisfaire économiquement ces exigences.

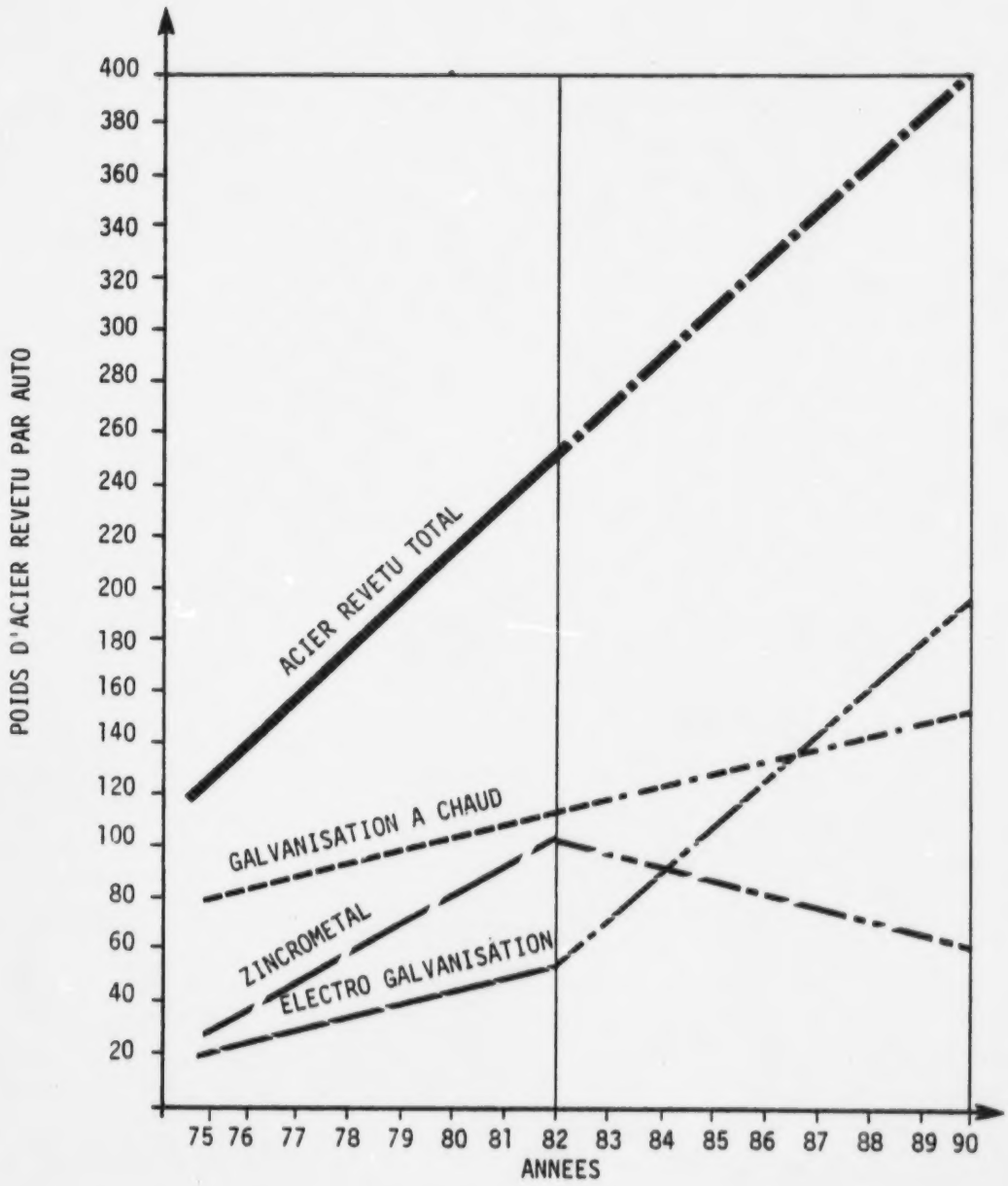


FIG. 3 - HISTORIQUE ET TENDANCES EN CE QUI CONCERNE L'USAGE DE TOLES PREREVETUES DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE D'APRES LE "ZINC INSTITUTE".

4.3.2 Exigences des constructeurs

Les exigences des constructeurs automobile concernant principalement le comportement des tôles zinguées, soumises aux différents procédés de fabrication. À cet égard, les propriétés recherchées sont les suivants:

a) Aptitude à la mise en forme

Dans presque toutes les applications, des tôles zinguées doivent, dans un premier temps être déformées par pliage, cintrage, repoussage ou emboutissage. Il devient alors important que les revêtements n'interfèrent pas avec les aptitudes normales des tôles à subir ces procédés. En général, on exige que les tôles zinguées se comportent comme les tôles laminées à froid.

b) Soudabilité

À date, les différentes composantes de la carrosserie des automobiles sont assemblées par soudage. Les principaux procédés sont le soudage par point, à la malette et le soudage à l'arc. Dans ces procédés, les producteurs requièrent également un comportement des tôles zinguées analogue à celui des produits laminés à froid, aussi bien au niveau de la qualité des soudures, qu'à celui de la durabilité des électrodes (cas du soudage par point) ou au dégagement des vapeurs nocives (cas du soudage à l'arc).

c) Aptitudes à la mise en peinture

Le produit fini des constructeurs doit avoir une apparence impeccable et cette apparence ne doit pas se dégrader trop rapidement après la mise en service. C'est là un des facteurs très important qui peut démarquer une catégorie d'automobiles au détriment des autres. L'aspect esthétique, lié à la durabilité des peintures est un facteur clé dans le succès relatif des constructeurs. Les tôles zinguées ne doivent donc pas ajouter de problèmes à ceux déjà importants reliés à l'application des revêtements esthétiques d'une automobile. La notion d'aptitude à la mise en peinture des tôles zinguées est d'importance capitale et constitue la clé de pénétration du marché.

d) Résistance à la corrosion

Quant à la résistance à la corrosion, même si une grande part de la littérature y est réservée et que différentes comparaisons sont présentées pour vanter un procédé au dépend de l'autre, notre étude conclut qu'une tôle zinguée est plus résistante qu'une tôle laminée à froid, quel que soit le procédé de zingage considéré et que cette protection est suffisante aux constructeurs automobiles.

Le rapport qualité/prix domine tous les autres. Il est cependant un seuil de qualité minimum

qu'on n'osera pas franchir même si des économies appréciables en résulteraient. Par ailleurs, une augmentation de qualité au-dessus de la moyenne actuelle ne serait acceptée qu'à la condition que l'augmentation du coût reste en deçà d'une marge limitée. Il est peu probable qu'une augmentation de la qualité des tôles zinguées ne se fasse sans une augmentation des coûts.

4.3.3 Procédés disponibles aux fournisseurs pour satisfaire les exigences des tôles zinguées

Il existe trois principaux procédés dont l'objectif est l'application de zinc sur les tôles destinées à l'industrie automobile. Il s'agit de:

a) Peinture métallique riche en zinc (Zincrométal)

Ce procédé fait intervenir trois opérations principales:

1- la préparation de surface englobant un dégraissage, un brossage et un rinçage de la tôle;

2- l'application au rouleau sur la face préparée d'une dispersion aqueuse contenant de l'acide chromique et du zinc en très fines poussières, suivie d'une première cuisson à 150°C;

3- une application finale au rouleau d'une peinture riche en zinc à liant organique suivie d'une cuisson à 260°C. Le revêtement total sur une face a une épaisseur standard de 14 microns. On peut l'appliquer sur une ou sur les deux faces. Lorsqu'il est appliqué sur une seule face, il satisfait aux exigences de soudabilité, de mise en forme et de mise en peinture et en l'absence d'égratignures, offre une bonne protection contre la corrosion.

b) Tôles galvanisées à chaud

Ce procédé consiste à plonger dans un bain de zinc liquide une tôle ayant préalablement subie un traitement de surface approprié. Les principales opérations sont les suivantes: dégraissage, rinçage à froid, décapage à l'acide chlorhydrique, rinçage à froid, fluxage, étuvage et galvanisation. L'acier réagit avec le zinc en surface et forme des couches d'alliage Fe-Zn. Au retrait, une couche de zinc fin recouvre celles-ci.

On peut alors obtenir des épaisseurs de zinc adaptées à la sévérité des expositions subséquentes. Typiquement, on utilise pour les applications de l'industrie automobile, des épaisseurs de 0,8 mils (G-90) ou de 0,5 mils (G-60). On peut également, par traitement thermique subséquent, faire croître la couche

d'alliage Fe-Zn de l'interface jusqu'en surface. Cet astuce améliore la soudabilité et l'aptitude à la mise en peinture de la surface, mais peut modifier les propriétés mécaniques de la tôle sousjacente.

Une variante du procédé de galvanisation à chaud est l'application sur une seule face. Ce procédé est utilisé pour améliorer la mise en peinture des parties visibles non galvanisées tout en conservant une bonne protection contre la corrosion de type "intérieur-extérieur". Il améliore aussi la soudabilité par point.

Une autre variante consiste à appliquer des épaisseurs différentes sur chacune des faces de la tôle. On obtient alors un compromis qui sacrifie l'aptitude à la mise en peinture au profit d'une protection galvanique des parties visibles. La mise en peinture des produits galvanisés à chaud peut être améliorée par un écrouissage superficiel après galvanisation qui produit une surface moins rugueuse et un fini mat (skin pass ou temper roll).

Enfin, l'usage d'alliages de zinc à la place de zinc dans le procédé de galvanisation à chaud a comme objectif d'améliorer les propriétés de soudabilité d'aptitude à la mise en forme et à la mise en peinture tout en conservant ou améliorant la protection contre la corrosion. Le produit commercial Galfan, développé en Europe, est un exemple de cette approche.

c) Les tôles électrozinguées

Dans ce dernier procédé, la couche protectrice de zinc est déposée par électrolyse sur l'acier, soit à partir d'anodes solubles en zinc ou d'un sel de zinc dans l'électrolyte. Dans ce dernier cas, la teneur en sel de zinc dans le bain doit être maintenue par regénération. Les principales étapes du procédé consistent en un dégraissage électrolytique, un décapage, l'électrolyse proprement dite, et un traitement subséquent de la surface par phosphatation ou chromatation suivi d'un rinçage.

Ce procédé permet un contrôle de l'épaisseur du revêtement. Généralement, des épaisseurs entre 2,5 et 10 microns sont utilisées. Les raffinements de revêtements sur une seule face ou sur les deux faces avec épaisseurs différentes ou non, sont également possibles avec ce procédé. Généralement, on admet que les propriétés des tôles électrozinguées sont légèrement meilleures que celles de leurs contreparties galvanisées à chaud. Des expériences de dépositions d'alliages multi-couches par électrolyse, sont actuellement en cours au Japon et présentent des résultats prometteurs.

En résumé, les raffinements que les fournisseurs de tôles utilisent sont:

a) mettre du zinc en quantités adaptées aux expositions (une face, une face et demie, deux faces, G-90 ou G-60) afin de restreindre les influences néfastes des revêtements sur les propriétés exigées;

b) modifier la composition des revêtements par traitement thermique subséquent ou par addition d'éléments d'alliage, ou;

c) faire des traitements de surface subséquents (skinpass sur les produits galvanisés à chaud).

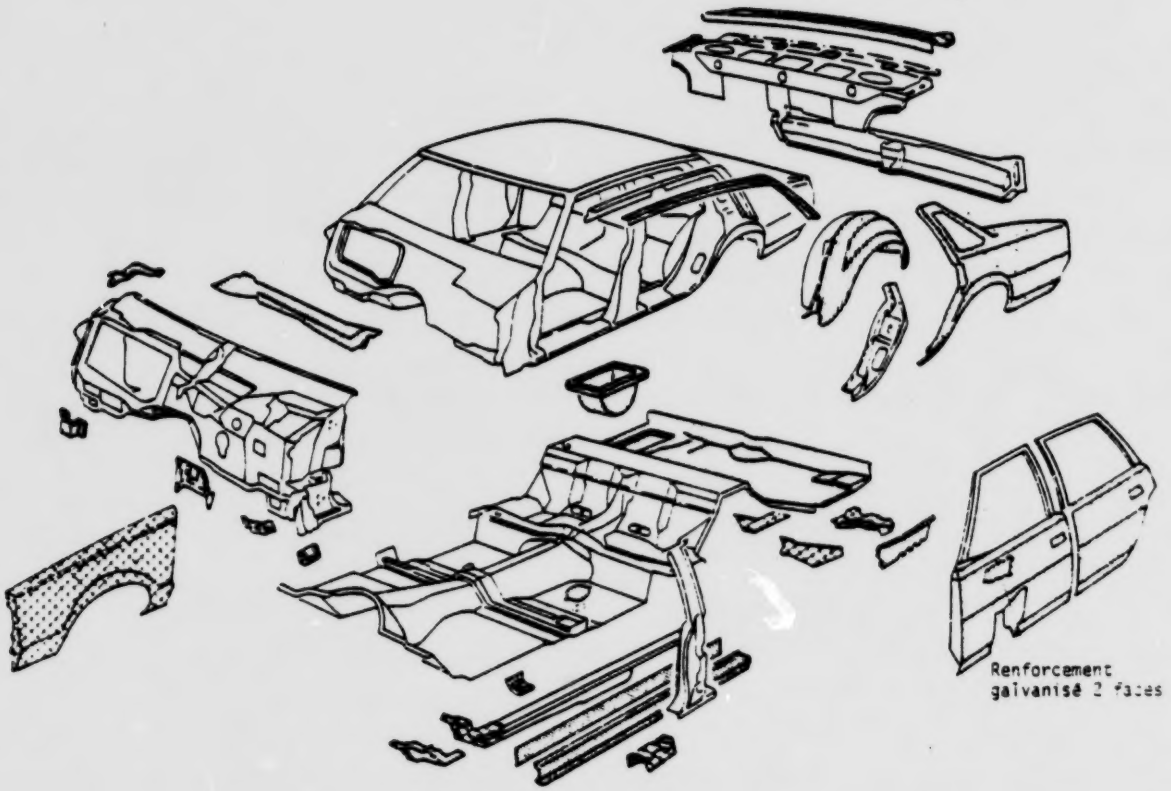
4.3.4 Pratiques courantes de protection

La pression des exigences des constructeurs et des attentes du public maintient l'industrie en constante évolution. Les tôles zinguées, produites par les procédés décrits précédemment sont utilisées de plus en plus par les constructeurs tandis que les fournisseurs s'efforcent de satisfaire les nouvelles demandes.

Ceci est illustré par les informations rendues publiques par General Motors, Chrysler, Peugeot et Renault. dont les pratiques consistent essentiellement à assembler des pièces ayant des degrés de protection différents, a par ailleurs, imposé à tous les constructeurs des traitements préalables à la mise edn peintures afin d'éliminer un nouveau type de dégradation d'esthétique, la saponification. Le choix de protection par les constructeurs susmentionnés sont décrits ci-après.

General Motors

La figure 4 montre les différentes composantes d'un châssis typique de GM avec les pratiques courantes d'utilisation de tôles prérevêtues. On y retrouve des revêtements issus des trois principaux procédés déjà mentionnés avec leurs variantes respectives. Entre autres, des tôles électrozinguées sont utilisées pour les panneaux externes des portières et les panneaux latéraux de l'arrière de la voiture. On y retrouve aussi des tôles galvanisées à chaud sur les deux faces pour le plancher de la malle arrière, le compartiment de la roue de secours, l'intérieur des ailes arrières (wheel wells) et les bas de caisses (rocker panels). Le panneau entre la lunette arrière et la malle arrière est recouvert d'un alliage de Fe-Zn et les ailes avant sont fabriquées à partir de tôles recouvertes d'une peinture métallique riche en Zn (Zincrométal).



Zincrometal
Tôle galvanisée
Alliage fer-zinc
Tôle électrozinguée 1 face

FIG. 4 - VUE "EXPLOSEE" DES DIFFERENTES COMPOSANTES D'UNE CARROSSERIE TYPIQUE "GM" ET ILLUSTRATION DE L'USAGE DES TOLES PREREVETUES AINSI QUE DES TYPES DE REVETEMENTS.

Chrysler Corp.

La pratique en vigueur chez Chrysler Corp. est illustrée à la figure 5. La tôle prérevêtue à partir du procédé de galvanisation à chaud sur une face est utilisée pour la fabrication des ailes avant et arrière, des panneaux extérieurs des portières et des panneaux latéraux de l'arrière de la voiture (quarterpanels). Des tôles galvanisées à chaud sur les deux faces sont utilisées pour la fabrication des bas de caisse, de l'intérieur des ailes arrière, des extensions des panneaux latéraux pour les panneaux transversaux arrière avant et sous le pare-brise. Une couche d'accrochage à base de zinc est utilisée sur le panneau intérieur du capot et sur la périphérie intérieure du panneau externe du capot.

Peugeot

Les figures 6, 7, 8 et 9 montrent la pratique de Peugeot sur la Berline 505 quant au choix de tôles zinguées dans la fabrication de la voiture. On y retrouve surtout les procédés de galvanisation à chaud sur une et deux faces et d'électrozinguage sur une face, en particulier pour le couvercle du coffre, et pour les panneaux extérieurs et inférieurs des portières. Les tôles galvanisées double faces se retrouvent dans les rallonges doublures des ailes arrières et dans les raidisseurs des ailes avants ainsi que dans les bas de caisses. Les tôles électrozinguées monofaces sont par contre utilisées dans le pied avant, l'armature avant, pour les renforts des éléments porteurs et dans les doublures d'ailes arrières.

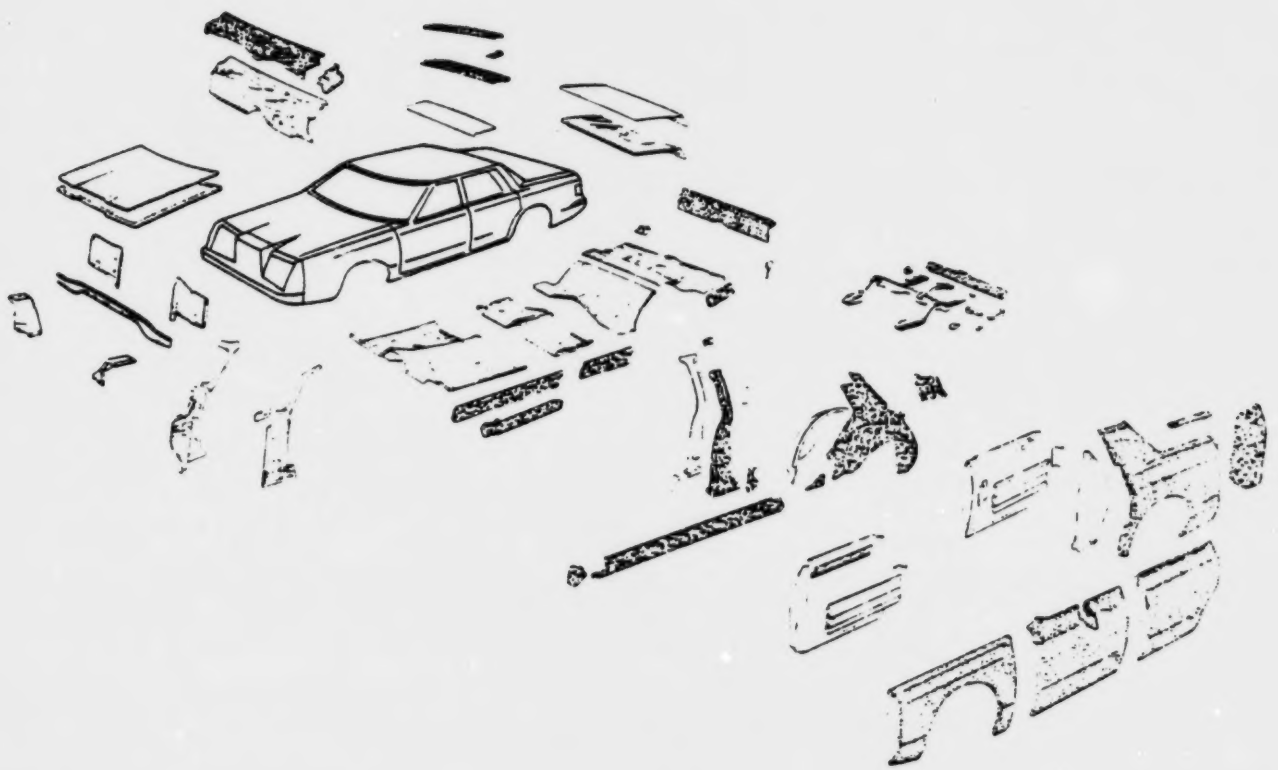


FIG. 5 - VUE "EXPLOSEE" DES DIFFERENTES COMPOSANTES D'UNE CARROSSERIE TYPIQUE "CHRYSLER" ET ILLUSTRATION DE L'USAGE DE TOLES PREREVETUES ET DES TYPES DE REVETEMENTS.

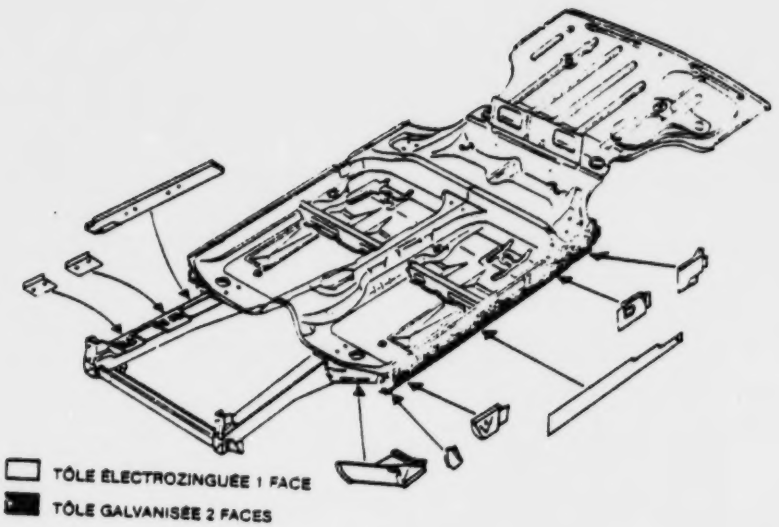


FIG. 6 - ILLUSTRATION DE L'USAGE DES TOLES PREREVETUES ET DES TYPES DE REVETEMENT DANS LE SOUBASSEMENT D'UNE PEUGEOT 505.

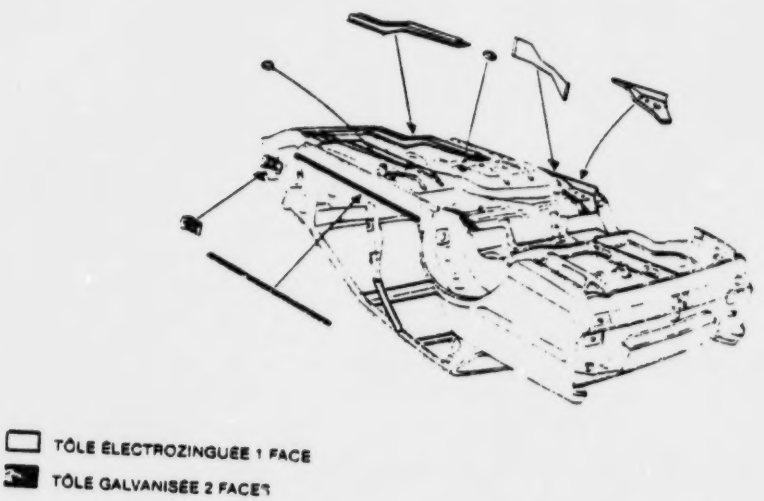
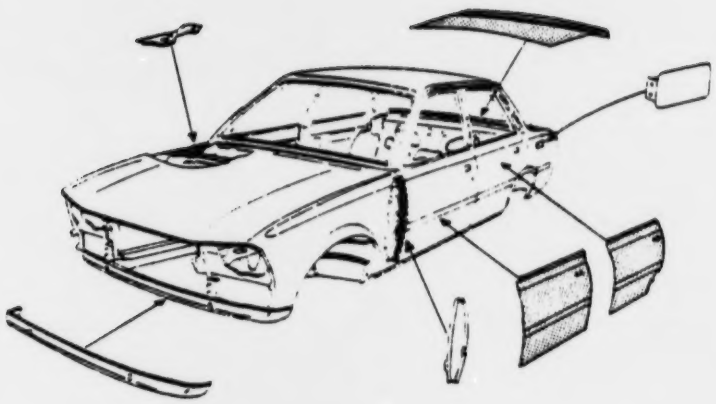


FIG. 7 - ILLUSTRATION DE L'USAGE DES TOLES PREREVETUES ET DES TYPES DE REVETEMENT SOUS UNE PEUGOT 505.



TÔLE ÉLECTROZINGUÉE 1 FACE
TÔLE GALVANISÉE 2 FACES
TÔLE GALVANISÉE MONOFACE

FIG. 8 - USAGE DES TOLES PREREVETUES ET DES TYPES DE REVETEMENT DANS LA CARROSSERIE D'UNE PEUGEOT 505.

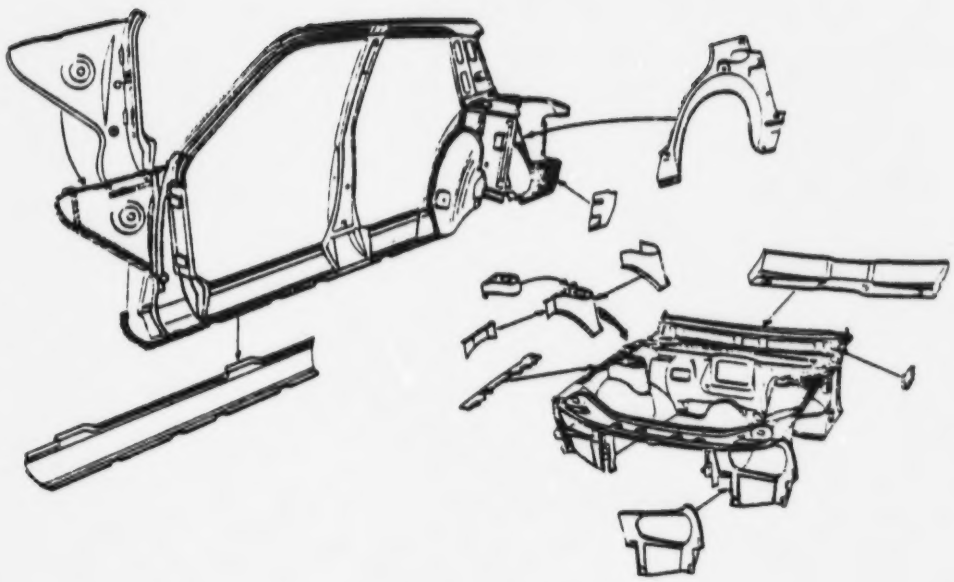


FIG. 9 - USAGE DES TOLES PREREVETUES A L'INTERIEUR D'UNE CARROSSERIE DE PEUGEOT 505.

Renault

La figure 10 montre les applications des tôles prérevêtues de peintures métalliques au zinc chez Renault. Les panneaux extérieurs et intérieurs des portières, les bases de calandre, la plage d'auvent, le panneau extérieur du coffre et le portillon de la trappe à essence sont tous fabriqués en tôles revêtues de peintures métalliques au zinc. Toutefois, M. Paniez du CITAG rapporte que Renault a décidé d'utiliser beaucoup plus de tôles électrozinguées sur ses futurs modèles en remplacement du Zincrométal.

Récemment, AMC Renault (Alliance modèle 83), spécifiait l'usage de tôles monofaces pour tous les panneaux externes.

Ces exemples pris chez quatre constructeurs illustrent bien que l'un ou l'autre des procédés peut être utilisé pour remplir la même fonction. Par exemple, les panneaux extérieurs des portières sont fabriqués à partir de tôles électrozinguées monofaces chez General Motors, de tôles galvanisées à chaud monofaces chez Chrysler Corp. et chez Peugeot, et de revêtements de type "zincrométal" chez Renault. Le choix d'un procédé dépend davantage des traditions et des relations constructeurs-fournisseurs, que des mérites respectifs et des performances relatives des tôles prérevêtues par l'un ou l'autre des procédés.

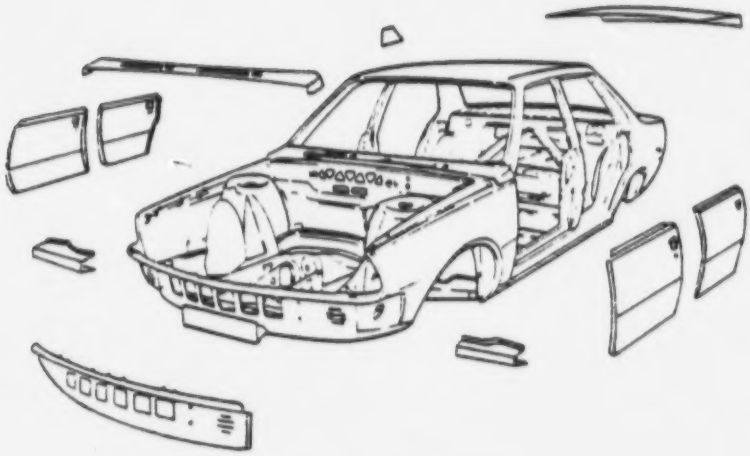


FIG. 10 - ILLUSTRATION DE L'USAGE DU REVETEMENT DE TYPE ZINCROMETAL SUR LA RENAULT 18.

La position technico-économique, des trois principaux procédés semble assez semblable. Il est à prévoir toutefois que l'évolution amènera l'un ou l'autre à s'imposer dans le futur. Il va de soi que la compétition des différents procédés mise surtout les panneaux visibles, où les revêtements monofaces dominent, et où l'esthétique est le facteur primordial. Pour les parties non visibles, et très exposées, la galvanisation à chaud sur les deux faces semble être le procédé le plus approprié.

Il est essentiel de souligner que l'usage dans une même automobile, de tôles zinguées conjointement avec des tôles sans protection cathodique active, provoque de nouveaux problèmes de dégradation esthétique, ce qui a entraîné la généralisation d'un prétraitement aux phosphates de l'ensemble de la carrosserie, avant l'étape de l'application des couches d'apprêt et des couches de peintures esthétiques.

4.3.5 Conséquence de l'usage de tôles zinguées et de tôles non revêtues

Parce que les automobiles sont un assemblage de tôles ayant subies des traitements initiaux anticorrosifs différents, elles sont sujettes à une aggravation de la dégradation des revêtements de finition. Cette dégradation se produit lorsqu'une éraflure affecte à la fois une tôle non protégée et une tôle protégée et que ces dernières sont en contact électrique. Souvent dans ces cas, les rapports anodes/cathodes sont défavorables et bien que l'acier mis à nu soit protégé, les produits de réaction à la cathode (qui

protège le métal nu sur la tôle non protégée) peuvent soulever les couches de finition et en provoquer le pelage.

Il en résulte des défauts esthétiques considérables dont la cause première est l'hétérogénéité des surfaces métalliques en présence. Normalement, le traitement de phosphatation préalable à la déposition d'une couche d'apprêt prévient ce type de défaut. Le fait que l'on traite une surface hétérogène augmente par ailleurs les difficultés de contrôle des procédés de phosphatation.

L'usage d'acier revêtu différemment et d'acier non revêtu dans les carrosserie a donc provoqué un problème esthétique additionnel. Il est à remarquer que l'usage de tôles avec une face non protégée est basé sur la conviction que cette pratique améliore la mise en peinture. Un revêtement protecteur qui aurait la même aptitude à la mise en peinture que les tôles laminées à froid pourrait en principe être utilisé sur toute la surface et dans ce cas éliminerait ce problème d'esthétique. Les revêtements alliés sont moins sujets à ce problème. Les revêtements multi-couches obtenus par électrodéposition développés au Japon constituent une application de cette propriété.

5.0 ÉTUDE COMPARATIVE DES PROCÉDÉS

5.1 Généralités

Cette section est une revue des procédés de revêtements à base de zinc, selon leurs performances actuelles et les difficultés technologiques qui leurs sont propres, ainsi que des orientations de développement.

5.2 Performances actuelles

A partir des entrevues que nous avons eues et de la littérature que nous avons consulté. Il se dégage un classement des tôles zinguées selon les trois procédés déjà mentionnés, en fonction de leurs aptitudes à la mise en forme et à la mise en peinture, la soudabilité et la résistance à la corrosion.

Compte tenu que la protection contre la corrosion dans le cas des tôles galvanisées et électrozinguée est proportionnelle à l'épaisseur, nous comparerons ces deux procédés à épaisseurs égales.

Le tableau 2 résume qualitativement l'évaluation des propriétés de différents types de revêtements par rapport à la tôle non revêtue. Bien entendu, les tôles revêtues sur une seule face, présentent sur la face non revêtue, les aptitudes à la mise en peinture même propriétés de soudabilité et de mise en peinture que la tôle non revêtue.

TABLEAU 2

Évaluation qualitative des propriétés selon les procédés de déposition du revêtement

Exigence à..... / produit	Résistance à la corrosion	Aptitude à la mise en forme	Soudabilité	Aptitude à la mise en peinture
Non revêtu	réf.	réf.	réf.	réf.
Zincrométal	+ 1	réf.	- 1	réf.
G.C. Zinc	+ 2	- 1	- 2	- 2
G.C. alliage	+ 2	- 1	- 1	- 1
E.G.	+ 2	réf.	- 1	- 1
E.D. d'alliages multicouches	+ 3	réf.	- 1	réf.

En résumé, le procédé zincrométal ne modifie pas sensiblement les aptitudes des tôles et ne procure pas une bonne résistance à la corrosion comparativement aux autres procédés et ceci surtout en présence d'éraflures.

Le procédé de galvanisation à chaud (G.C.) sans traitement destiné à favoriser la formation d'alliage Fe-Zn procure une bonne protection, mais réduit l'aptitude à la mise en forme, à la mise en peinture et la soudabilité et peut affecter les propriétés mécaniques. En fait, c'est le procédé qui altère le plus ces propriétés.

L'incorporation d'éléments d'alliage au procédé de galvanisation à chaud, tout en maintenant la résistance à la corrosion ou en l'améliorant (Galfan, annexe 4), devrait améliorer les propriétés de soudabilité et de mise en peinture.

Enfin, le procédé d'électrogalvanisation n'affecte pas l'aptitude à la mise en forme mais altère légèrement les propriétés de soudabilité et de mise en peinture.

Les revêtements multi-couches obtenus par électrolyse semblent en ce moment ouvrir une voie selon laquelle on peut adapter les propriétés aux besoins. Ils constituent en ce moment la technique la plus prometteuse.

Bien entendu, le classement qualitatif relatif du tableau 2 révèle une situation globale basée sur des entrevues et des documents. Les différences entre les procédés, de certaines propriétés, sont peu accentuées et il se peut que pour des cas particuliers, les positions relatives du tableau 2 soient permutées.

Les caractéristiques mécaniques des tôles sont quelque peu modifiées pour les tôles galvanisées à chaud par l'effet de la température tandis qu'elles ne sont pas modifiées par l'électrozingage.

Ainsi, un procédé de galvanisation à chaud bien contrôlé peut produire des tôles prévêtues de qualité globale supérieure à celles issues d'un procédé d'électrozingage mal réglé. La marge entre les deux n'est pas telle que systématiquement, l'un prévaille sur l'autre.

Également, les propriétés de soudabilité et de mise en peinture ne sont pas affectées dans le cas des revêtements monofaces quel que soit le procédé. Toutefois, il convient d'établir qu'elles sont les difficultés pour chacun des procédés de produire effectivement des revêtements monofaces.

5.3 Difficultés propres à chacun des procédés

5.3.1 Généralités

Étant donné que le "Zincrométal" offre une résistance à la corrosion moindre que les autres procédés, le présent examen est limité à l'électrodéposition et la galvanisation à chaud pour lesquelles, d'ailleurs les efforts de développement sont les plus poussés. Les aspects examinés sont ceux relatifs à la production de revêtements monofaces, au contrôle de l'épaisseur des revêtement, au contrôle de l'uniformité de l'épaisseur et aux avantages des revêtements alliés.

Les tôles zinguées sur une seule face constituent une portion importante des tôles prérevêtues utilisées dans l'industrie automobile. Une étude du "Zinc Institute" a établi qu'en 1982, il y avait une moyenne par automobiles de 53 livres de tôles zinguées monofaces et 115 livres de tôles zinguées sur les deux faces. Ces chiffres indiquent que près de la moitié des tôles galvanisées ou électrozinguées sont traitées sur une seule face .

Plusieurs interlocuteurs, prévoient que cette proportion ira en s'accentuant à moins d'une percée technologique importante dans les systèmes de peintures. La

facilité relative de produire des tôles zinguées sur une seule face est donc un critère de comparaison important entre les procédés d'électrodéposition et de galvanisation à chaud.

5.3.2 Tôles monofaces

i) Procédé d'électrodéposition

Historiquement, ce procédé a été à l'origine des prérevêtements monofaces (annexe 2). De par le principe même qui régit ce procédé, la déposition sur une seule face s'effectue naturellement.

La figure 11 montre une des façons de déposer électrolytiquement le zinc ou ses alliages, et il est évident que seule la face extérieure de la tôle sur le rouleau est sujette à la déposition. La face intérieure est exempte puisqu'elle ne capte aucun courant de déposition et ressort du procédé sans aucune contamination de zinc. Elle est donc supérieure à une tôle non revêtue de par son nettoyage électrolytique et possède par conséquent les propriétés de soudabilité de la tôle laminée à froid et une aptitude supérieure à la mise en peinture. Il va de soi que les mêmes remarques s'appliquent dans le cas de revêtements multi-couches déposés par électrolyse.

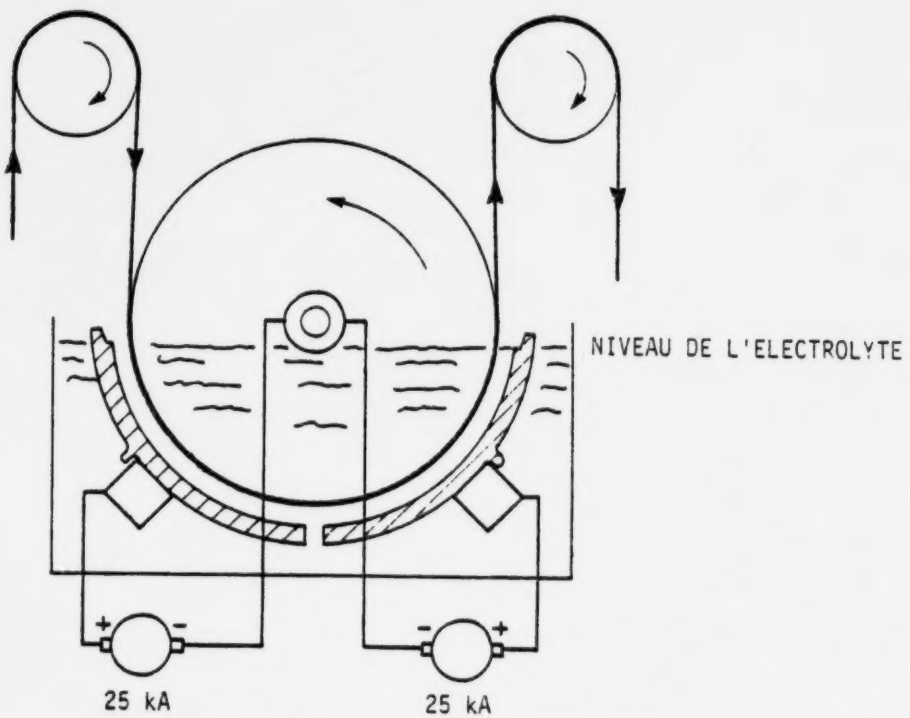


FIG. 11 - SCHEMA D'UN MODULE D'ELECTROZINGAGE SUR UNE LIGNE QUI PEUT EN COMPTER PLUSIEURS. SEULE LA FACE EXTERIEURE DE LA TOLE SUR LE ROULEAU EST SOUMISE A L'ELECTRODEPESITION.

ii) Galvanisation à chaud

De par la nature même du procédé, la galvanisation à chaud se prête bien à la production de tôles zinguées sur les deux faces. Suite à la production de tôles électrozinguées monofaces et de l'accueil de ces dernières par les constructeurs (voir annexe 2), les fournisseurs de tôles prérevêtues utilisant le procédé de galvanisation à chaud emboîtèrent le pas et tentèrent de produire des revêtements monofaces. Ils eurent recours à des techniques telles que le masquage d'une face durant l'immersion, l'usage d'un rouleau applicateur, (fig. 12) des phénomènes de capillarité (fig. 13) et de pompes électromagnétiques (fig. 14). Par ailleurs, à cause de la température élevée, inhérente au procédé, la face non revêtue doit être maintenue en atmosphère inerte pour éviter une oxydation excessive.

Le masque comporte le risque que le zinc s'infiltre dans des défauts et contamine la face devant être libre de zinc. Il s'ensuit alors des difficultés pour la mise en peinture. D'autres techniques consistent à enlever la couche de zinc sur la face devant être nue par des moyens mécaniques (gratter), cela a produit une tôle dont la face grattée est recouverte d'une mince couche d'alliage Fe-Zn qui se prête assez bien à la soudure et à la mise en peinture. Cette face n'est toutefois pas comparable à une face nue telle que produite par le procédé d'électrodéposition monoface.

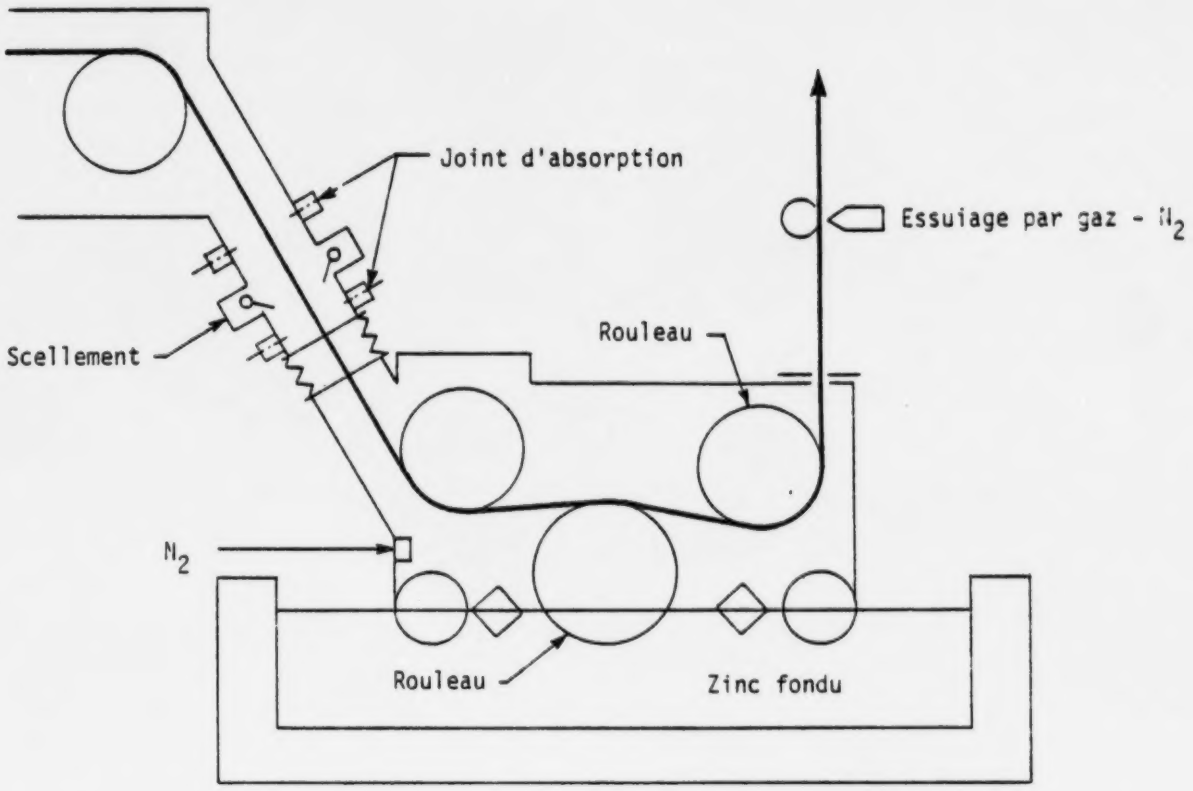


FIG. 12 - DEPOSITION DE ZINC PAR ROULEAU

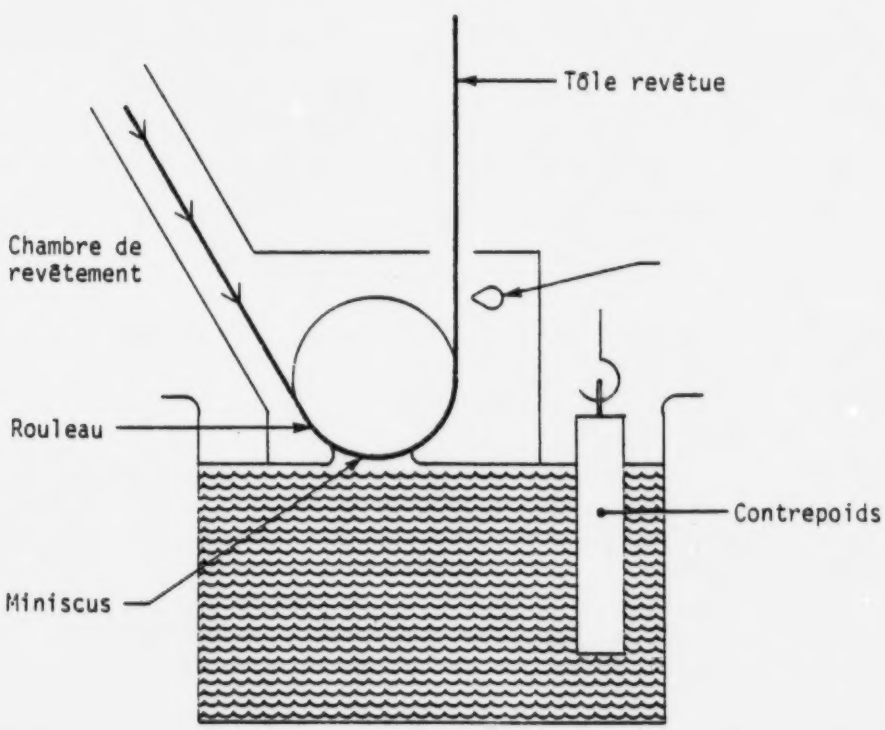


FIG. 13 - DEPOSITION DE ZINC PAR MINISCUS

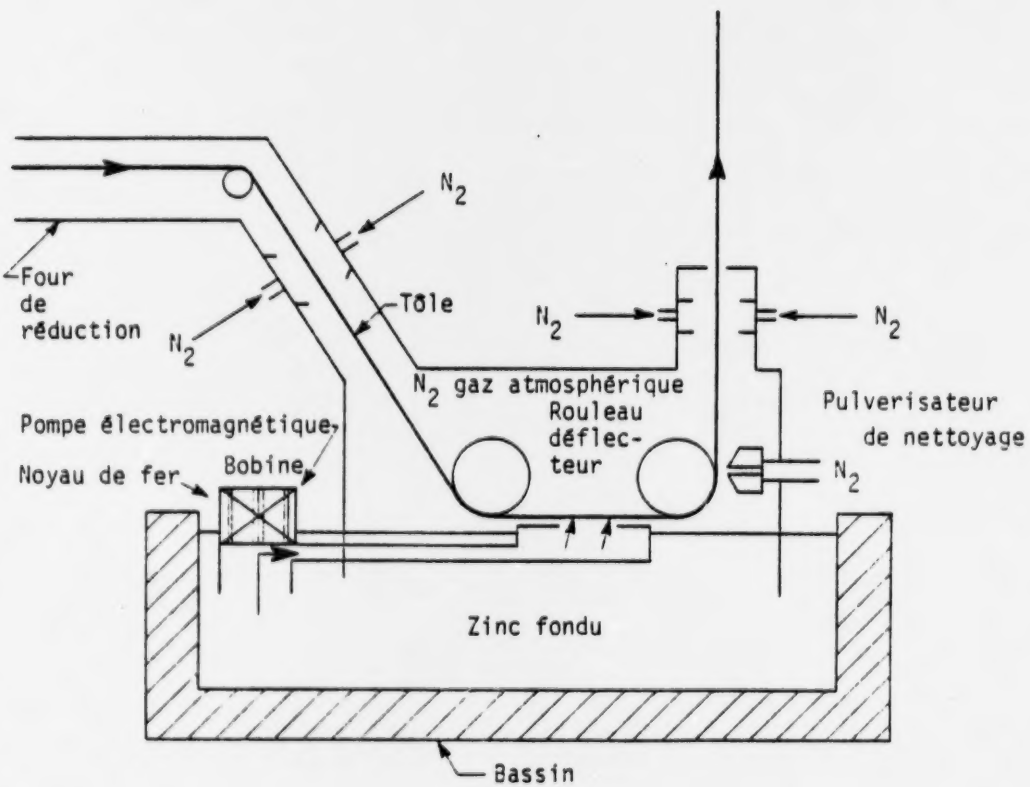


FIG. 14 - GALVANISATION D'UNE SEULE FACE - POMPE ELECTROMAGNETIQUE

5.3.3 Contrôle des épaisseurs

i) Procédé d'électrozingage

En principe, la quantité de zinc déposée par ce procédé est réglée par la loi de Faraday. Un contrôle de la densité de courant et de la vitesse de la bande permet donc d'assurer une épaisseur bien définie. La nature de l'acier dans ce cas importe peu et des variations de composition n'influencent aucunement le procédé. De plus, des épaisseurs très faibles peuvent être obtenues justement parce que le courant et la vitesse peuvent être agencées de telle sorte que des mini-couches soient possibles.

L'influence de la vitesse relative entre l'électrolyte et la tôle, sur la surtension de diffusion, est l'objet d'étude pour permettre l'usage de fortes densités de courant (jusqu'à 240 A/cm). Tout acccroissement de l'intensité de courant accélère l'électrodéposition et la rend plus efficace.

ii) Procédé de galvanisation à chaud

Dans ce procédé, l'épaisseur du revêtement dépend de la température du bain, du temps de séjour, donc de la vitesse, de la réactivité du zinc liquide sur l'acier, de la vitesse de refroidissement et des moyens mécaniques utilisés pour enlever une partie du zinc liquide après la sortie du bain. Un impondérable parmi ces variables est la teneur de l'acier en certains éléments. La réactivité entre la tôle et le zinc liquide dépend en effet des compositions respectives de l'acier et du bain de zinc.

Des variations de composition, particulièrement dans l'acier, peuvent modifier sensiblement l'épaisseur du revêtement. De plus, parce qu'il convient de maintenir une durée de séjour minimale dans le bain pour assurer l'échauffement de la tôle, une épaisseur minimale doit être réalisée de sorte que de très faibles épaisseurs sont irréalisables. De plus, cette épaisseur minimale, tel que nous l'avons déjà mentionné dépend, fortement de la composition des tôles.

5.3.4 Uniformité des revêtements

i) Procédé d'électrozingage

L'uniformité du revêtement dans ce procédé suit l'uniformité spatiale de la densité de courant durant l'électrodéposition. C'est le paramètre clé pour assurer l'uniformité d'épaisseur des dépôts.

ii) Procédé de galvanisation à chaud

Lorsqu'un régime permanent est établi, l'uniformité des revêtements, déposés par galvanisation à chaud, est assurée en autant que de grandes variations de compositions dans la tôle n'existent pas, ce qui est généralement le cas pour les bobines provenant de la même coulée. En général, l'uniformité du dépôt est donc maintenue dans ce procédé.

5.3.5 Revêtements alliés

i) Électrodéposition

La formation d'alliage est possible en incorporant dans l'électrolyte des sels appropriés dont les cations constituent les éléments d'alliage. En utilisant plusieurs cellules d'électrolytes, des revêtements multicouches peuvent être déposés, chacune des couches ayant une fonction propre à remplir. Les revêtements bicouches Zn-Ni et Zn-Fe, produisent des tôles résistances à la perforation (Zn-Ni sur le substrat) et ont une bonne aptitude à la mise en peinture (Fe-Zn, à forte teneur en Fe facilite l'électrodéposition de la couche d'apprêt).

ii) Galvanisation à chaud

Le changement de la composition du bain de galvanisation permet aussi la production de revêtements alliés. Toutefois, la production de revêtement multi-couches est difficile et la flexibilité dans le choix des compositions est moindre dans ce dernier procédé.

5.4 Orientation des efforts pour surmonter les difficultés

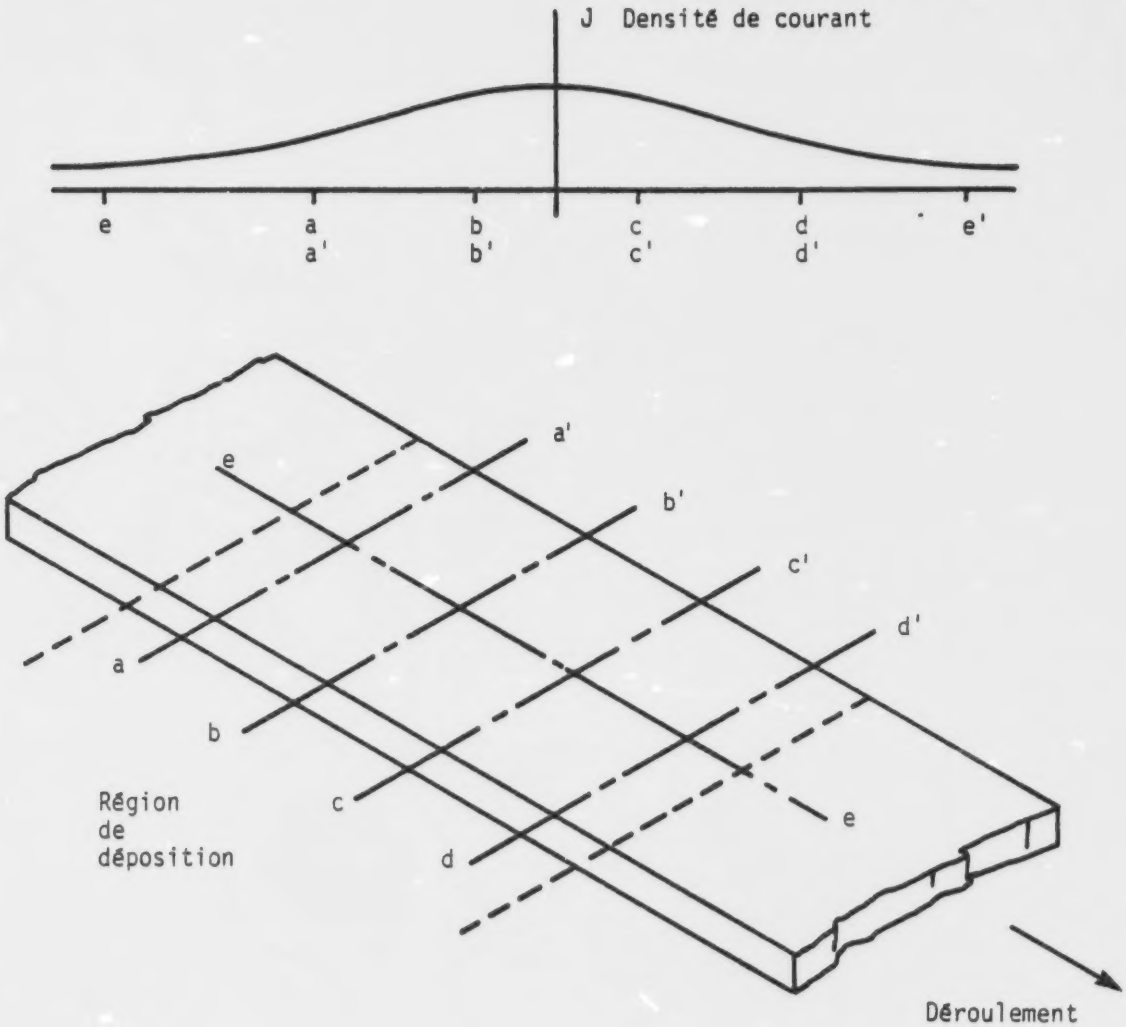
Les principales difficultés de la galvanisation à chaud sont la contamination possible de la face vierge dans le cas des monofaces, et le contrôle de l'épaisseur de la couche d'alliage pour des compositions diverses d'acier. Dans le cas de l'électrodéposition, l'uniformité de l'épaisseur est le principal problème à résoudre.

i) Électrodéposition

En ce qui a trait à l'électrogalvanisation, l'uniformité d'épaisseur est fonction de l'uniformité transversale de la densité de courant dans la région d'électrolyse. En autant que pour toute coupe transversale (sens de la largeur de la tôle), la densité de courant soit constante, il y aura dépôt uniforme, même si la densité de courant varie longitudinalement. La figure 15 montre schématiquement les conditions d'uniformité et de non uniformité d'épaisseur.

En principe, pour assurer l'uniformité, il est essentiel d'avoir une surface initiale aussi lisse que possible, un contact électrique transversal uniforme sur la tôle, et un parallélisme rigoureux entre les électrodes insolubles et la tôle. Pour bien contrôler l'uniformité des épaisseurs, l'électrode insoluble et la regénération de l'électrolyte est préférable, car la distance anode/cathode peut être mieux contrôlée.

Les cellules à haut rendement telles que celles illustrées aux figures 16 et 17 sont bien appropriées pour assurer un bon contrôle d'épaisseur et peuvent aussi être utilisées pour les dépôts multi-couches. Le schéma de senseurs et de contrôle requis pour bien maîtriser l'électrodéposition est montré à la figure 18.



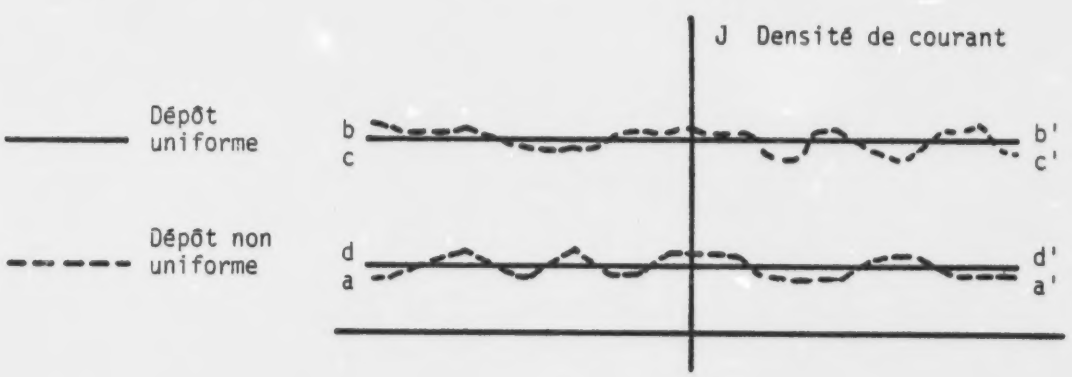


FIG. 15 - UNIFORMITE DU REVETEMENT

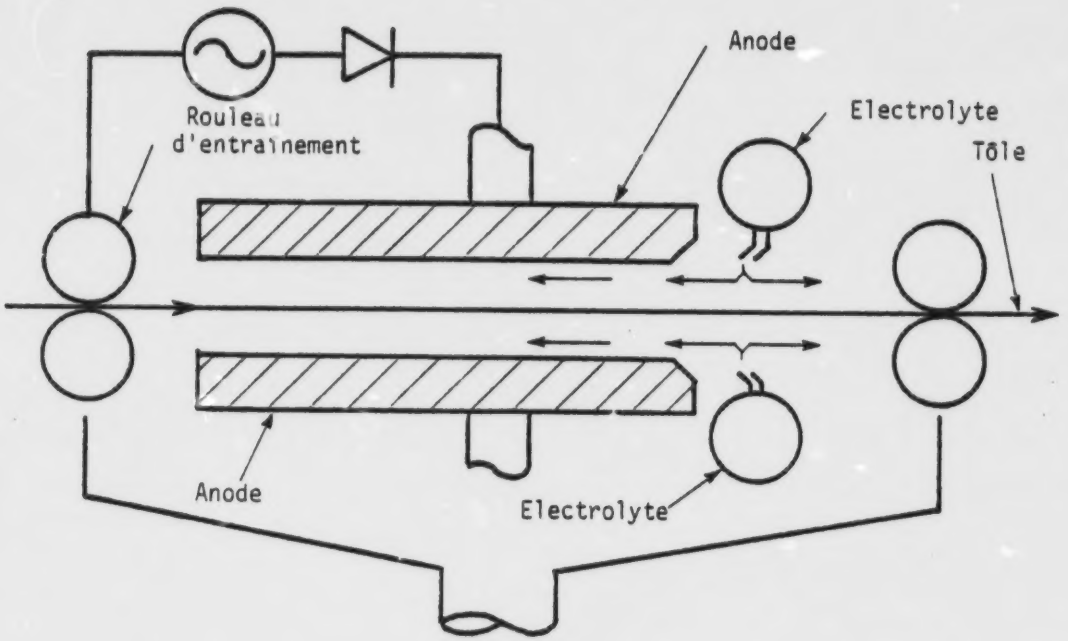


FIG. 16 - CELLULE A GRANDE VITESSE

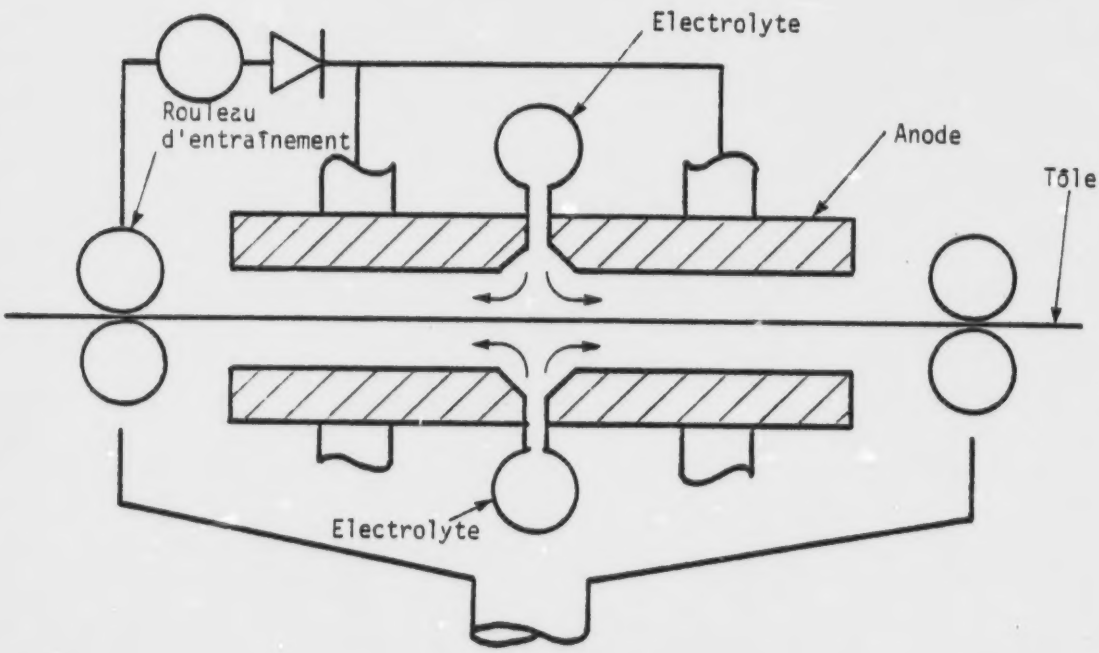


FIG. 17 - CELLULE D'INJECTION AU CENTRE DE L'ANODE

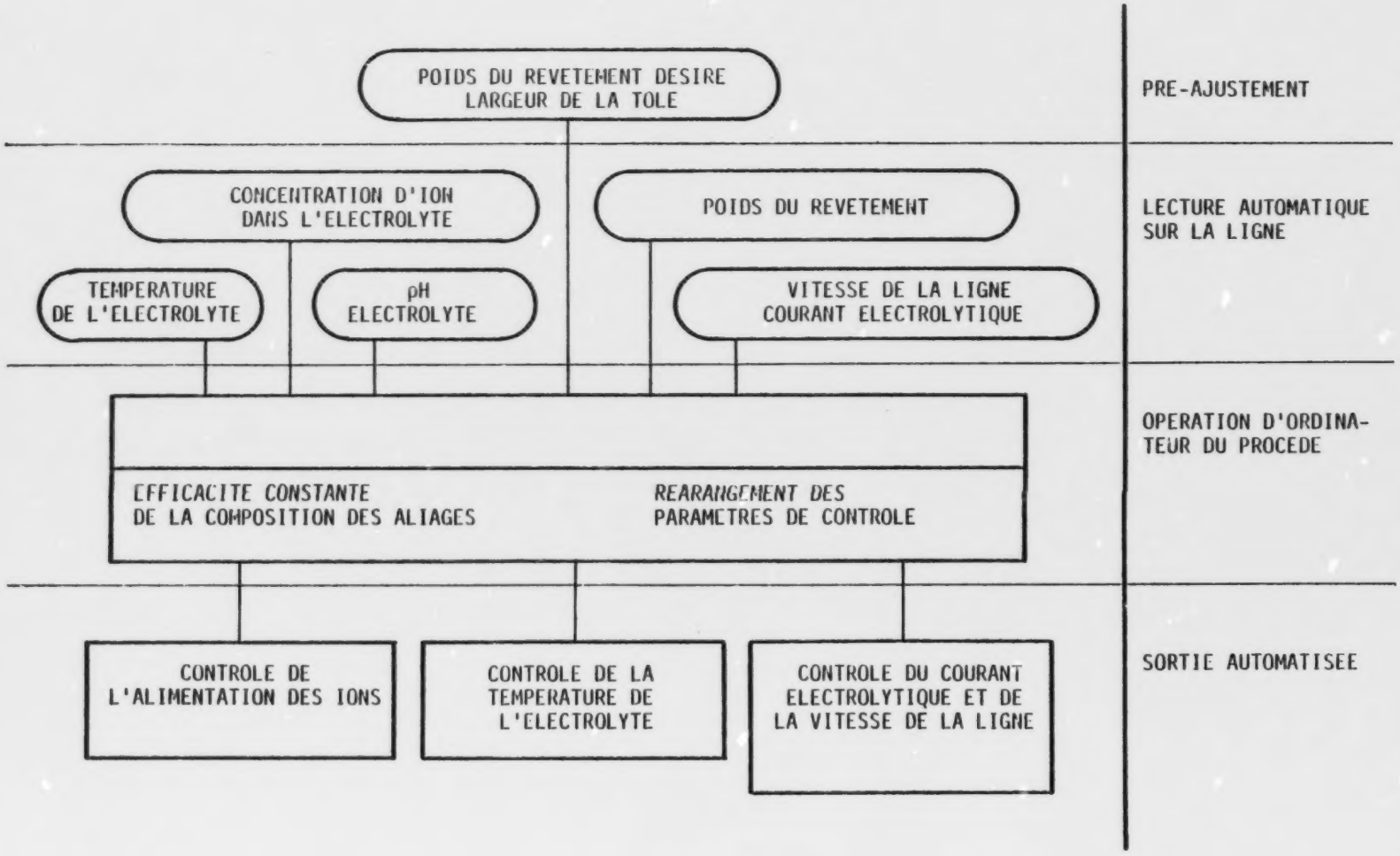


FIG. 18 - CONTROLE DE LA PRODUCTION DE TOLES
ELECTRODEPOSEES AVEC ALLIAGES

L'amélioration du procédé d'électrodéposition repose sur le développement des points suivants:

- la conception des bains d'électrolyte et des agencements d'électrodes;

- des exigences sévères de contacts électriques sur la tôle.

Un contrôle rigoureux des procédés de préparation avant l'électrodéposition (nettoyage, décapage) afin d'assurer une surface aussi plane que possible.

Dans le cas de déposition d'alliage , un contrôle de la vitesse d'écoulement de l'électrolyte couplé au maintien du rapport molaire des cations dans l'électrolyte assure la constance de la composition du revêtement. Des experts en génie chimique (regénération de l'électrolyte) électrochimie, (traitements préalable des surfaces et génie mécanique (tolérances transversales) sont requis pour l'étude des problèmes posés.

ii) Galvanisation à chaud

Le procédé de galvanisation à chaud permet de produire un revêtement monoface grâce à la technique du masquage. La nature, l'adhérence, le comportement du matériau de masquage et la façon de le déposer, jouent un rôle important dans l'immunité de la face masquée durant l'immersion dans le bain de zinc. Par la suite, la facilité avec laquelle on peut enlever ce produit assure la non contamination de la face non revêtue. L'amélioration de ce procédé requiert le coucours de plusieurs disciplines.

Dans le cas du procédé faisant appel à un rouleau applicateur (fig. 12), le matériau du rouleau et le maintien d'un contact constant et efficace entre la tôle et le rouleau constituent les principaux défis. L'efficacité du transfert de zinc par le rouleau durant le procédé dépend de plusieurs facteurs qu'il faut bien connaître et contrôler. Pour le procédé faisant appel à la capillarité (fig. 13), le contrôle de la distance entre le rouleau et la surface du bain est critique. La propreté du bain est aussi critique, particulièrement en surface.

L'autre difficulté inhérente à ce procédé est la réactivité des alliages de zinc avec les différents aciers. Le développement d'alliage de zinc, peu sensibles aux variations de composition de l'acier en plus d'améliorer dans certains cas l'aptitude à la mise en forme, la soudabilité, l'aptitude à la mise en peinture (Galfan) et la résistance à la corrosion a aussi comme objet d'améliorer le contrôle du procédé. Les orientations de développement pour les procédés de galvanisation à chaud misent les matériaux de masquage, les alliages de zinc et le contrôle des procédés faisant appel à un rouleau applicateur ou au phénomène de capillarité.

Bien entendu, les étapes préalables à l'immersion constituent aussi toujours des préoccupations et des développement à cet égard restent possibles. De plus, des traitements ultérieurs à la galvanisation sont requis pour modifier le fini de surface et améliorer l'aptitude à la mise en peinture (skin pass).

Un programme intégré de développement devra faire appel à une bonne connaissance des contrôles et de la métallurgie.

6.0 CONJONCTURE ACTUELLE DE L'INDUSTRIE CANADIENNE DE PRODUITS PLATS ZINGUÉES

6.1 Généralités

Après une revue de quelques données économiques et techniques des deux principaux fournisseurs canadiens le rôle que pourrait jouer le CNRC et l'IGM face à cette situation, est évalué compte tenu de l'opportunité que représente, pour l'ensemble du secteur des revêtements en continu, la disponibilité de la ligne d'entraînement polyvalente de l'IGM.

6.2 Aspect économique

La production des principaux fournisseurs canadiens de tôles galvanisées deux faces peut satisfaire environ 20% du parc automobile nord-américain alors que les canadiens ne consomment que 10% de ce parc (10^7 unités). Des exportations nettes d'environ 150 000 tonnes de produits zinguées destinés à l'industrie automobile en résultent.

6.3 Aspect technologique

Stelco produit uniquement des tôles galvanisées sur les deux faces, par le procédé de galvanisation à chaud. Les chercheurs de Stelco ont expérimenté à une échelle réduite une variante du procédé d'électrodéposition avec électrodes insolubles; de plus, ils envisagent des modifications aux traitements de surface avant la galvanisation et la mise au point de nouveaux alliages de zinc. Il n'est pas prévu

d'acquisition à court terme mais les activités des fournisseurs américains sont suivies attentivement et le procédé d'électrodéposition serait considéré, advenant la nécessité d'une expansion. À cet égard, les travaux conjoints de Bethleem Steel et Inland qui projettent le développement d'une ligne d'électrozingage sont l'objet d'une attention spéciale.

Chez Dofasco, on produit aussi des tôles galvanisées à chaud sur les deux faces. Le développement met l'accent sur les essais de tenue à la corrosion en insistant sur la représentativité de ces derniers (road tests).

Compte tenu de la conjoncture actuelle et des récentes acquisitions d'installation de galvanisation à chaud chez Dofasco, il est peu probable que des modifications soient faites ou que l'électrozingage soit adopté dans un avenir prochain. Il est quasiment certain que la galvanisation à chaud sera le principal procédé en usage au Canada, par les deux principaux fournisseurs de tôles prérevêtues pour l'industrie automobile dans les prochaines années.

6.4 Rôle du CNRC (ou constance favorable IGM)

Le secteur industriel des tôles prérevêtues, au même titre que les autres, est sujet à obtenir de l'assistance via les différents programmes du CNRC en vue de consolider sa position concurrentielle sur les marchés et assurer son maintien à la fine pointe de la technologie du secteur.

Pour ce secteur particulier toutefois, la circonstance de mise en disponibilité par l'IGM d'une ligne pilote polyvalente d'entraînement de produits plats, conçue pour l'application en continu de revêtement est particulièrement favorable.

Cette installation particulière devient donc un outil de premier ordre pour assister les fournisseurs de tôles prérevêtues dans leurs efforts de développement. Elle peut même leur permettre d'expérimenter des procédés non encore sélectionnés par les fournisseurs et ainsi leur procurer l'avantage rare d'une usine pilote.

Cette circonstance procure un avantage unique qui doit être exploité conjointement par les fournisseurs canadiens de tôles prérevêtues et l'IGM, afin d'assurer aux premiers un statut privilégié face à leur concurrents étrangers, et au deuxième, une certitude quant à l'accomplissement de son mandat et à la production de retombées économiques importantes pour l'industrie canadienne.

Il est donc primordial que la ligne polyvalente de l'IGM soit le pivot d'activités soutenues orientées vers le secteur des tôles prérevêtues et catalyse la recherche et le développement, non seulement pour satisfaire les besoins à court terme mais également pour satisfaire ceux perçus pour un avenir plus lointain. L'innovation devra donc être de mise dans le programme global développé autour de cette installation. La concertation avec les producteurs devra aussi être maintenue.

7.0 SUGGESTION D'UN PROGRAMME IGM

7.1 Généralités

Le programme IGM doit être à la fois novateur et adapté aux besoins à court terme. Il doit au minimum prévoir les changements sujets à se produire et assurer l'acquisition d'une compétence à cet égard.

7.2 Électrodéposition

Il est essentiel que le procédé d'électrodéposition occupe une place privilégiée au sein du programme IGM. Ce procédé, bien qu'en minorité actuellement (environ 20 usines au total, vs 185 dans le cas de la galvanisation à chaud dans le monde occidental) est plus flexible et en général donne des produits qui satisfont mieux les exigences des constructeurs.

Il est à prévoir qu'il déplacera les diverses variantes du procédé de galvanisation à chaud pour les produits à grandes exigences esthétiques. Ce dernier ne persiste que pour des raisons d'investissements déjà consentis.

L'IGM se devant d'être avant-gardiste doit donc s'impliquer selon le besoin qui se manifeste et en faire la principale ligne d'action de ses recherches. Il serait souhaitable que l'IGM prévoit une cellule flexible d'électrodéposition sur la ligne, où différentes variantes pourraient être comparées (anodes solubles ou insolubes, géométries variables, essais systématiques de variations dimensionnelles, alliages multi-couches, etc.).

7.3 Galvanisation à chaud

D'autre part, compte tenu de la situation actuelle des principaux fournisseurs canadiens, il est aussi essentiel de seconder les développements déjà amorcés. A cet égard, certaines variantes du procédé de galvanisation à chaud doivent être soutenues par des recherches à court terme. Les innovations de traitements de surface préalables, et celles d'addition d'éléments d'alliage devront donc constituer les principaux champs de ces recherches.

7.4 Activités périphériques

Il faudrait aussi profiter de la ligne d'entraînement qui reproduit assez fidèlement les vitesses et les tolérances dimensionnelles des produits plats soumis à différents procédés industriels (laminage), pour tester l'adaptabilité des différents capteurs développés dans le groupe instrumentation et système, aux conditions indutrielles.

Cette possibilité constitue un atout majeur pour l'IGM et introduit des conditions industrielles dans le laboratoire. Il faudra en profiter car cette conjoncure interne rapproche sensiblement les "penseurs" des conditions pratiques et devrait favoriser la conception de systèmes de mesures et de contrôle mieux adaptés. Le tableau 3 résume les principales activités globales qui devraient graviter autour de la ligne IGM.

TABLEAU 3

Activités	- Description
Revêtements Électrodéposition	- Cellule d'électrodéposition Étude des variantes du procédé
Galvanisation à chaud	- Traitements préalables de surface Galvanisation à chaud (alliage Zn) Traitements post-galvanisation (thermique/mécanique/thermo-mécanique)
Périphériques	- Systèmes de mesure et contrôle Peintures, émaux

7.5 Implications pour IGM

7.5.1 Personnel

Le personnel dédié au groupe revêtement est, selon le plan de développement de l'IGM, constitué de 23 personnes. Le bon fonctionnement de la ligne requiert un minimum de 10 personnes de l'IGM, secondées par des personnes déléguées par les fournisseurs des tôles zinguées. Le tableau 4 suggère la répartition du personnel selon les activités au moment du démarrage.

TABLEAU 4

ACTIVITÉ	PERSONNEL IGM	PERSONNEL DÉTACHÉ
Électrodéposition	2 chercheurs 2 techniciens	1 ingénieur
Galvanisation à chaud	1 chercheur 2 techniciens 1 ingénieur	4 ingénieurs
Mesure et contrôle	1 chercheur	
Gestion globale	1 ingénieur	

La suggestion du tableau 4 implique une plus grande participation initiale des fournisseurs pour les activités reliées à la galvanisation à chaud. Ce scénario est conditionné par la situation actuelle des fournisseurs. Quant à l'électrodéposition, elle devrait constituer le projet à moyen terme et être une initiative interne à l'IGM, bien qu'une participation soutenue des fournisseurs soit quand même requise

7.5.2 Investissements

L'installation de base comprend l'équipement nécessaire pour le procédé de galvanisation à chaud. Les investissements devront donc être faits pour incorporer une cellule flexible d'électrodéposition et adapter les installations de traitement de surface préalables.

Les principales composantes de la cellule sont:

- bain d'électrolyte
- unité de recirculation et regénération
- agencement flexible d'électrodes
- source d'alimentation et de contrôle

Les étapes de sa réalisation sont:

- acquisition d'informations pertinentes
- conception
- construction et assemblage

Il est difficile, à ce point, d'établir un coût basé sur une connaissance détaillée des composantes et ce n'est pas l'objet de cette étude.

Toutefois, en se basant sur la portion dédiée à l'électrodéposition d'une ligne et sur la valeur actuelle de cette ligne, nous pouvons estimer à environ 500 000$ les investissements requis pour entreprendre des activités en électrozingage sur la ligne IGM.

8.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

8.1 Conclusions

- Les causes et les principales formes de corrosion nocives pour les automobiles sont clairement identifiées.

- La solution de principe aux problèmes de corrosion des automobiles est l'usage de tôle prérevêtues de zinc ou d'un alliage de zinc.

- Divers procédés s'offrent aux fournisseurs pour produire effectivement des tôles zinguées.

- Les exigences des constructeurs, les pratiques courantes et les tendances perçues indiquent toutefois que les tôles zinguées monofaces ou les revêtements multi-couches prendront de l'ampleur. La pratique actuelle, quant à l'usage de l'un ou l'autre des procédés, n'est pas uniforme et résulte surtout de compromis entre les exigences des constructeurs et les capacités des fournisseurs.

- À moins d'une percée dans la technologie des revêtements non métalliques ou d'un virage dans le choix des matériaux de base des carrosseries, il est probable que le procédé d'électrodéposition déplacera celui de la galvanisation à chaud, pour produire les tôles à grande exigence esthétique (panneaux extérieurs des carrosseries).

- La situation générale actuelle de l'industrie canadienne de production de tôles zinguées est bonne. En ce qui concerne les produits destinés à l'industrie automobile, les producteurs canadiens fournissent environ 20% des besoins du parc nord-américain, en tôles galvanisées sur les deux faces. Il en résulte des exportations nettes d'environ 150 000 tonnes annuellement.

- La principale lacune de nos producteurs réside dans les difficultés qu'ils pourraient avoir à s'adapter aux exigences perçues chez les constructeurs qui semblent favoriser de plus en plus les prérevêtus monofaces ou multi-couches. À cet égard, les procédés d'électrodéposition, absents chez les fournisseurs canadiens, sont mieux adaptés et en général les produits qui en sont issus, présentent de meilleures aptitudes au soudage, à la mise en forme et à la mise en peinture.

- Cependant, étant donné que seulement 20% de la production des tôles galvanisées au Canada est destinée au marché de l'automobile, et que les autres marchés s'accommodent du procédé de galvanisation à chaud, toute amélioration technique de ce procédé améliore la position des fournisseurs canadiens. Toutefois, il serait opportun d'analyser l'impact du procédé d'électrodéposition pour les autres applications.

- Dans ce contexte, la circonstance favorable que constitue la disponibilité de la ligne

d'entraînement polyvalente de l'IGM devrait être exploitée par une action concertée entre IGM et les fournisseurs canadiens de façon à:

1) anticiper les difficultés perçues et inhérentes à l'absence de lignes d'électrodéposition au Canada et développer une compétence canadienne dans un secteur important de l'industrie nordaméricaine;

2) favoriser le développement de variantes du procédé de galvanisation à chaud, afin de satisfaire les besoins des marchés autres que celui de l'automobile et limiter temporairement l'écart de qualité entre les produits électrozingués et ceux galvanisés à chaud, afin de maintenir la situation favorable actuelle des fournisseurs canadiens dans le marché de l'automobile.

8.2 Recommandations

À cet effet, il est recommandé que:

1) l'électrodéposition industrielle soit l'objet d'études particulières par le personnel de l'IGM;

2) un module flexible d'électrodéposition soit incorporé à la ligne IGM et qu'en conséquence, un investissement de 500 000$ soit dédié à cette fin;

3) un groupe minimum de deux chercheurs et deux techniciens IGM soit dédié à ce procédé, et qu'un détachement analogue de la part des fournisseurs complète l'équipe;

4) des variantes du procédé de galvanisation à chaud soient l'objet d'étude du groupe revêtement de l'IGM;

5) qu'il y ait concertation avec les fournisseurs quant à l'identification de ces variantes;

6) qu'on intègre un membre du personnel du groupe "instrumentation et système" aux activités de la ligne IGM pour identifier les applications potentielles des capteurs et systèmes IGM, aux besoins industriels issus du contrôle des produits plats se déplaçant à grande vitesse.

7.0 PROPOSAL FOR AN IMRI PROGRAMME

7.1 Background

The IMRI programme should be both innovative and adapted to existing short-term needs. As a minimum, it should take into account any changes that are likely to occur, and ensure the acquisition of competence in this area.

7.2 Electrodeposition

It is essential that the electrodeposition process take precedence over any other efforts made by the IMRI programme. Even though only a minority of the plants are presently using it (about 20 plants in total, in comparison to 185 that use hot-dip galvanizing in the Western world), this process is more flexible and generally yields results that are better suited to the requirements of the manufacturers.

We can expect that it will replace the various other hot-dip galvanizing processes for use with products that are more demanding in terms of design considerations. The use of this process persists only in view of the amounts of capital already invested.

Thus, before turning to more innovative activities, IMRI should become involved in meeting existing needs, and plan its research activities accordingly. IMRI should plan on a flexible on-line electrodeposition module where several variants of the process could be compared (soluble or insoluble anodes, different geometries, systematic testing of dimensional variations, multilayered coatings, etc.).

7.3 Hot-Dip Galvanizing

On the other hand, taking into account the present situation in regard to the main Canadian suppliers, it is also essential to support other developments already in place. In this respect, certain variants of the hot-dip galvanizing process should be supported by short term research projects. Thus, the main efforts in this area should concentrate on innovations introduced in existing preliminary surface treatments and those involving the use of alloys.

7.4 Peripheral Activities

It would also be necessary to take advantage of the production line capable of faithfully reproducing the speeds and size tolerances of sheet products subject to various industrial processes (rolling), in order to test, under industrial conditions, the adaptability of various sensors developed by the Systems and Instrumentation Group.

This possibility represents a major breakthrough for IMRI, and introduces industrial conditions in the laboratory. This opportunity should be exploited, because this internal combination of circumstances is quite similar to a model representing real conditions, and should prove helpful in designing better adapted measurement and control systems. Table 3 shows the main activities that should be organized around the IMRI line.

TABLE 3

Activities	- Description
Coatings Electrodeposition	- Electrodeposition module Study of the process variants
Hot-Dip Galvanizing	- Preliminary surface treatments Hot-dip galvanizing (Zn alloys) Post-galvanizing treatments (Thermal/Mechanical/Thermo-Mechanical)
Peripherals	- Measurement and control system Painting, enamelling

7.5 Implications for IMRI

7.5.1 Personnel

According to IMRI's development plan, there could be 23 people in the Coatings Group. The proper operation of the line requires a minimum of 10 people from IMRI, and the support of people representing galvanized steel sheet suppliers. Table 4 shows a proposal for the distribution of personnel on the basis of the activities predicted for the start-up period.

TABLE 4

ACTIVITY	IMRI PERSONNEL	ATTACHED PERSONNEL
Electrodeposition	2 researchers 2 technicians	1 engineer
Hot-dip galvanizing	1 researcher 2 technicians 1 engineer	4 engineers
Measurement and control	1 researcher	
General administration	1 engineer	

The proposed plan shown in Table 4 implies a larger initial participation on the part of the suppliers for the activities related to hot-dip galvanizing. This scenario can be changed to accommodate the needs of the suppliers. As far as electrodeposition is concerned, it should represent a medium-term project and be an internal IMRI initiative, even though the on-going participation of the suppliers is also required.

7.5.2 Investments

The basic installation involves the equipment necessary for the hot-dip galvanizing equipment. Thus, the investments should include a flexible electrodeposition module and the adaptation of the installations for preliminary surface treatments.

The main componenets of the cell are:

- electrolyte bath
- recirculation and regeneration unit
- flexible electrode arrangement
- feeding and control source.

The installation stages are:

- acquisition of pertinent data
- design
- construction and assembly.

At this point, it is difficult to establish a realistic cost based on all the necessary components and this is not the purpose of this study.

Nevertheless, on the basis of the electrodeposition portion of a line, and on the present value of this line, we can estimate that an investment of about $500,000 would be required for installing the necessary electrogalvanizing equipment at IMRI.

8.0 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

8.1 Conclusions

- The causes and main types of automobile corrosion have been clearly identified.

- The solution to the problem of automobile corrosion is the use of steel sheets that have been precoated using zinc or zinc alloys.

- Various processes are available to suppliers for the production of galvanized steel sheets.

- Nevertheless, the requirements of the manufacturers and existing practices and trends seem to indicate that the most popular choices are the use of single-layer galvanized sheets or multilayered coatings. At present, there is no general agreement regarding the choice of one or the other of these processes, and it depends upon a compromise between the needs of the manufacturers and the capacity of the suppliers.

- Unless there is a breakthrough in the technology of non-metallic coatings, or a change in the basic materials used for the construction of car bodies, it is probable that the electro-deposition process will replace hot-dip galvanizing for the production of sheets for applications where design is a main consideration (like the external panels for car bodies).

- At present, the general outlook of the galvanized steel industry in Canada is good. As far as products for the automobile industry are concerned, Canadian manufacturers supply about 20% of the needs of North American industry for steel sheets galvanized on both sides. This results in the net export of about 150,000 tons per year.

- The main point of contention for our producers resides in the difficulties that they could encounter in adapting their installations to meet the needs of the manufacturers, who are tending more and more towards the use of single layer or multilayer preliminary coatings. Electrodeposition processes are not used in Canada now, but they seem to be more versatile and better suited to welding, forming, and painting.

- However, given that only 20% of the Canadian production of galvanized steel sheets is destined for the automobile market, and that the other markets seem well served by the hot-dip galvanizing process, any technical developments in this area will improve the position of Canadian suppliers. In any case, it would be interesting to analyze the impact that the electro-deposition process could have on the other applications.

- In this context, the availability of the multi-purpose production line at IMRI represents an opportunity that should be exploited

through a concerted effort on the part of IMRI and Canadian suppliers, in order to achieve the following objectives:

1) To anticipate any perceived difficulties inherent in the fact that there are no electrodeposition production lines in Canada; and to develop Canadian experience in an important sector of North American industry.

2) To facilitate the development of other variants of the hot-dip galvanizing process, in order to meet the requirements of markets other than the automobile industry; and temporarily restrict the variations in quality between electroplated products and those that have been galvanized using the hot-dip method, in order to maintain the present favourable situation of Canadian suppliers in the automobile industry.

8.2 Recommendations

To this effect, we would like to offer the following recommendations:

1) That IMRI personnel carry out a series of individual studies on industrial electrodeposition processes.

2) That a flexible electrodeposition module be incorporated into the IMRI production line and, consequently, that the sum of $500,000 be invested for this purpose.

3) That a group consisting of at least two researchers and two technicians from IMRI be allocated to this project, and that the team be completed by a similar detachment from the suppliers.

4) That the IMRI Coating Group carry out a study on other variants of the galvanizing process.

5) That the agreement of the suppliers be obtained as to the identifications of these variants.

6) That a member of the Instrumentation and Systems Group be detached to the IMRI production line, in order to identify other potential uses of IMRI sensors and systems to meet industrial requirements regarding the control of fast moving sheet products on the production line.